# PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 7. 1. April 1906. Redaktionsschluß für No. 8 am 4. April 1906. 7. Jahrgang.


INHALT.


**Originalmitteilungen:**

H. W. Schmidt u. K. Kurz, Über die Radioaktivität von Quellen im Großherzogtum Hessen und Nachbargebieten. S. 209.

P. Ewers, Über das Vorkommen von Argon und Helium in den Gasteiner Thermalquellen. S. 224.

H. Greinacher, Über die durch Radiotellur hervorgerufene Fluoreszenz von Glas, Glimmer und Quarz. S. 225.

E. Marx, Elektrodentemperatur und Flammenleitung. S. 228.

Mitteilungen aus dem physikalischen Institut der Universität Bologna. No. 12: A. Righi, Über die Erhöhung der Leitfähigkeit fester Dielektrika unter der Einwirkung von Radiumstrahlen. S. 228.

H. Boruttau, Zur Geschichte, Konstruktion und Wirkungsweise des Kapillartelephons. S. 229.

J. J. Borgmann, Elektrisierung eines isolierten metallischen Leiters durch einen ihn umgebenden Metallzylinder, der geerdet und von dem zu untersuchenden Leiter durch Luft getrennt ist. II. S. 234.

J. Nabl, Zur Theorie der Diffusion der Gase. S. 240.

G. Jaumann, Notiz über die Verdampfungsgeschwindigkeit überhitzten Wassers. S. 241.

A. Nippoldt, Zum Einfluß der totalen Sonnenfinsternis vom 30. August 1905 auf die erdmagnetischen Variationen. S. 242.

**Fragekasten.** S. 248.

**Personalien.** S. 248.

**Gesuche.** S. 248.


## ORIGINALMITTEILUNGEN.

### Über die Radioaktivität von Quellen im Großherzogtum Hessen und Nachbargebieten.


Von Heinrich Willy Schmidt und Karl Kurz.


Die vorstehenden Untersuchungen sind nach der in dieser Zeitschrift angegebenen Methode [1]) in unmittelbarer Nähe der Quellen kurze Zeit nach Entnahme des Wassers ausgeführt. Da von dem zu diesen Versuchen nötigen Apparat [2]) damals nur eine schematische Zeichnung gegeben wurde, fügen wir hier noch das nach einer photographischen Aufnahme hergestellte Bild der Anordnung bei (vgl. Fig. 1). Diese hat sich bei Versuchen im Institut und draußen im Gelände sehr gut bewährt. Wir bemerken hierzu, daß alle Apparatteile (bis auf die Holzfüße des Stativs) in einer Pappschachtel von $27 \times 23 \times 15{,}5\ \mathrm{cm}^3$ Inhalt untergebracht werden können, und daß das Gesamtgewicht (inklus. Stativ) 4,3 kg beträgt. Die ganze Apparatur kann deshalb bequem in einer kleinen Handtasche oder einem Rucksack transportiert werden.

Unsere Untersuchungen hatten doppelten Zweck. Einmal sollten sie sich über ein größeres Gebiet ausdehnen und sich hier neben den zahlreichen Heil- und Trinkquellen auf alles direkt aus dem Boden kommende Quellwasser erstrecken. Wir hofften auf diese Weise einen Beitrag zu der Frage zu liefern, in welchem Grade radioaktive Substanzen in der Erdrinde verbreitet sind, und an welche Bedingungen ihr Vorkommen geknüpft ist. — Wir wollten aber außerdem untersuchen, ob das im Quellwasser enthaltene radioaktive Gas nur Radiumemanation enthält, oder ob man neben Radiumemanation noch die Emanation irgendeines anderen radioaktiven Produktes nachweisen kann.

Daß Radiumemanation in den Quellen vorhanden ist, darf nach zahlreichen, an vielen Orten der Erde vorgenommenen Untersuchungen als sicher angenommen werden. Man hat das aus der Abklingungszeit der Quellemanation und

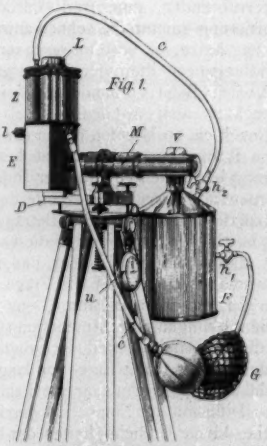



Fig. 1.

Metalldreifuß $D$ mit Elektrometer $E$ und Ablesemikroskop $M$. Schüttelflasche $F$ mit Hähnen $h_1$ und $h_2$ und Verschluß $v$. Gummigebläse $G$, Schläuche $c$. Zerstreuungsgefäß $Z$ mit Libelle $L$ und Ladestift $l$. Sekundenuhr $u$.

dem radioaktiven Verhalten von Drähten geschlossen, die in Gegenwart der Quellgase, oder noch besser, der etwa vorhandenen Quellsedimente aktiviert waren. In verschiedenen Quell-

1) Vgl. H. W. Schmidt, diese Zeitschrift **6**, 561, 1905.
2) Von Spindler & Hoyer in Göttingen zu beziehen.

sedimenten (z. B. in Bad Nauheim [1]), Baden-Baden [2]), Kreuznach [3]) hat man auch Thor bezw. das die Thoraktivität verursachende Element gefunden. Dagegen konnte Thoremanation im Wasser selbst von den meisten Beobachtern nicht nachgewiesen werden, weil die Untersuchungen nicht mit frisch entnommenem Wasser gemacht wurden. Nur v. d. Borne [4]), der gleich nach Entnahme des Wassers mit seinen Beobachtungen begann, glaubt in zahlreichen Quellen des Simplontunnels die Anwesenheit von Thoremanation festgestellt zu haben; freilich gibt er keine zahlenmäßigen Angaben, und es ist deshalb nicht zu entscheiden, ob der von ihm beobachtete Effekt, ein anfänglich starker, später schwächerer Spannungsabfall im Elektroskop, eben gerade von vorhandener Thoremanation herrührt oder etwa auf andere Weise erklärt werden kann.

Entschieden liegt in der sofortigen Untersuchung der Emanation frisch entnommenen Wassers die Möglichkeit, sowohl Radium- als Thoremanation nachzuweisen. Haben wir Thoremanation allein, so wird die Ionisierung im emanationshaltigen Gefäß in einer Minute auf die Hälfte des Anfangswertes herabsinken. Bei alleinigem Vorhandensein von Radiumemanation steigt die Ionisierung anfänglich in ganz markanter Weise an: zu dem von der Emanation allein herrührenden, annähernd konstanten Teil der Ionisierung kommt die schnell anwachsende Ionisierung hinzu, die von den rasch zerfallenden Umwandlungsprodukten der Radiumemanation bewirkt wird. Beim Vorhandensein beider Emanationen kann man aus dem Verlauf der Ionisierung nach ca. 10 Minuten die in der Anfangszeit von Radiumemanation allein herrührende Ionisierung berechnen und aus der Differenz der gefundenen und errechneten Werte den auf die Thoremanation allein fallenden Betrag der Ionisierung bestimmen. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, daß man leicht und innerhalb verhältnismäßig kurzer Zeit die Frage nach der Art der Emanation lösen kann. Denn Versuche über die Abklingung der Emanation selbst sind wegen der langsamen Zerfallgeschwindigkeit der Radiumemanation (ca. 4 Tage) von langer Dauer und schließen außerdem manche Fehlerquellen in sich. (Diffusion der Emanation durch Gummischläuche, kleine Undichtigkeiten der benutzten Meßgefäße etc.) Und Versuche mit Drähten, die in Gegenwart von Quellschlamm aktiviert wurden, geben wohl ein gutes — vielleicht sogar das beste — Bild über die Art der festen an die Erdoberfläche geführten radioaktiven Bestandteile. Dagegen sagen sie nichts über die Menge der im Wasser vorhandenen Emanation aus und sind außerdem nur dann praktisch zu benutzen, wenn die untersuchten Quellen radioaktive Sedimente in genügender Menge absondern. Nun setzen aber viele radioaktive Quellen überhaupt keine oder nur sehr wenig Sedimente ab. Außerdem ist die Erlangung der Sedimente stets mit mehr oder weniger Unbequemlichkeiten verknüpft.

Falls Thoremanation im Quellwasser selbst nicht nachweisbar ist, so spricht dies, wie ausdrücklich betont werden muß, nicht gegen ein Vorhandensein von Thor selbst (bezw. das die Thoraktivität verursachende Element). Man muß eben immer berücksichtigen, daß Thoremanation äußerst rasch zerfällt, und daß deshalb kleine Mengen davon viel schwerer nachzuweisen sind, als die ziemlich stabile Radiumemanation.

Die Methode, aus dem anfänglichen Verhalten der Luftleitfähigkeit eines emanationshaltigen Gefäßes die Art und Größe der Emanation zu bestimmen, ist von uns in dieser Arbeit durchweg angewandt worden. Wir haben uns beim Untersuchen der Emanation stets mit Beobachtungssätzen von 10 bis 20 Minuten Dauer begnügt und dann noch das Verhalten der induzierten Aktivität einige Zeit (manchmal über $^1/_2$ Stunde) verfolgt. — Zunächst soll jetzt an einem Beispiele erläutert werden, wie Beobachtung und Berechnung durchgeführt sind. Im vorliegenden Falle handelt es sich um eine Quelle mittelstarker Aktivität, die im Quellgebiet des Gießener Wasserwerks zu Queckborn (ca. 16 km östlich von Gießen) aus einer Sickerstelle direkt neben den Bohrlöchern zutage tritt. — Der Apparat wurde ca. 50 m von der Quelle im Schatten des Maschinenhauses leidlich vor Wind geschützt aufgestellt und vor Beginn der Beobachtung erst ca. $^1/_2$ Stunde geladen stehen gelassen, damit der anfängliche unregelmäßige Ladungsverlust, der bei allen neugeladenen Körpern durch Eindringen der Elektrizität in das isolierende Dielektrikum (hier Bernstein) statthat, die Genauigkeit der Versuche nicht beeinträchtigte. Das Wasser wurde vorsichtig in die Schüttelflasche eingefüllt, sodaß es hierbei nicht von atmosphärischer Luft durchperlt wurde. Auf dem Wege von der Quelle zum Apparat wurde die Flasche intensiv geschüttelt und dann nach Einblasen der emanationshaltigen Luft in das Untersuchungsgefäß sofort mit der Beobachtung begonnen. Beobachtungssatz und Ausrechnung sind in der folgenden Tabelle I zusammengefaßt:

In der ersten Zeile der Tab. I steht der Teilstrich der Okularskala; in der zweiten die Zeit des Blättchendurchgangs durch diesen Teilstrich, gerechnet vom Beginn der Luftzirkulation an, in der

1) Vgl. J. Elster und H. Geitel, diese Zeitschr. **6**, 67, 1905.
2) Vgl. C. Engler, Zeitschr. f. Elektrochem. **11**, 714, 1905.
3) Vgl. K. Aschoff, Zeitschr. f. öffentl. Chemie **15**, 1905; Referat: Beiblätter **30**, 268, 1906.
4) G. v. d. Borne, Jahrb. d. Radioaktivität und Elektronik **2**, 142, 1905.

Tabelle 1.

| Beobachtung | | | Berechnung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Teilstrich der Okularskala | 2. Zeit von Beginn des Versuchs | 3. Zeit zum Durchwandrn. eines Skalenteils (in Sek.) | 4. Zusammenfassung von je 5 Skalenteilen | 5. Spannungsdifferenz für 5 Skalenteile (in Volt) | 6. Zeit zum Durchwandrn. von 5 Skalenteil. (in Sek.) | 7. Zerstreuung in Millivolt pro Sekunde | 8. Mittlere Zeit | 9. Zerstreuung berechnet für die Emanation allein |
| 5,4 | 45″ | 80 | 5,4—5,9 | 1,61 | 275 | 5,86 | 3′03″ | 4,20 |
| 5,5 | 2′05″ | 55 | 5,5—6,0 | 1,61 | 260 | 6,20 | 4′15″ | 4,25 |
| 5,6 | 3′00″ | 55 | 5,6—6,1 | 1,61 | 255 | 6,32 | 5′08″ | 4,21 |
| 5,7 | 3′55″ | 45 | 5,7—6,2 | 1,61 | 250 | 6,45 | 6′00″ | 4,21 |
| 5,8 | 4′40″ | 40 | 5,8—6,3 | 1,61 | 250 | 6,45 | 6′45″ | 4,15 |
| 5,9 | 5′20″ | 65 | 5,9—6,4 | 1,61 | 265 | 6,08 | 7′37″ | 3,84 |
| 6,0 | 6′25″ | 50 | 6,0—6,5 | 1,62 | 250 | 6,49 | 8′30″ | 4,06 |
| 6,1 | 7′15″ | 50 | 6,1—6,6 | 1,62 | 250 | 6,49 | 9′20″ | 4,03 |
| 6,2 | 8′05″ | 45 | 6,2—6,7 | 1,62 | 245 | 6,61 | 10′08″ | 4,06 |
| 6,3 | 8′50″ | 55 | 6,3—6,8 | 1,62 | 245 | 6,61 | 10′53″ | 4,04 |
| 6,4 | 9′45″ | 50 | 6,4—6,9 | 1,62 | 230 | 7,03 | 11′40″ | 4,27 |
| 6,5 | 10′35″ | 50 | 6,5—7,0 | 1,62 | 225 | 7,20 | 12′28″ | 4,37 |
| 6,6 | 11′25″ | 45 | 6,6—7,1 | 1,62 | 235 | 6,89 | 13′22″ | 4,16 |
| 6,7 | 12′10″ | 45 | 6,7—7,2 | 1,63 | 230 | 7,10 | 14′05″ | 4,26 |
| 6,8 | 12′55″ | 40 | 6,8—7,3 | 1,63 | 225 | 7,26 | 14′48″ | 4,35 |
| 6,9 | 13′35″ | 45 | 6,9—7,4 | 1,63 | 235 | 6,93 | 15′32″ | 4,14 |
| 7,0 | 14′20″ | 60 | 7,0—7,5 | 1,64 | 240 | 6,83 | 16′20″ | 4,06 |
| 7,1 | 15′20″ | 40 | 7,1—7,6 | 1,64 | 230 | 7,12 | 17′15″ | 4,21 |
| 7,2 | 16′00″ | 40 | 7,2—7,7 | 1,64 | 235 | 6,98 | 17′57″ | 4,10 |
| 7,3 | 16′40″ | 50 | | | | | | Mittelwert 4,16 |
| 7,4 | 17′30″ | 50 | | | | | | |
| 7,5 | 18′20″ | 50 | | | | | | |
| 7,6 | 19′10″ | 45 | | | | | | |
| 7,7 | 19′55″ | | | | | | | |

dritten die Zeitdifferenz zum Durchwandern eines Skalenteils. Auf den ersten Blick scheint in den Zahlen der dritten Reihe gar keine Gesetzmäßigkeit zu liegen. Faßt man jedoch stets 5 Skalenteile zusammen (Zeile 4) und bildet den Quotienten von Spannungsdifferenz (Zeile 5) und Zeit (Zeile 6), so kommt man zu einer Zahlenreihe (Zeile 7), die trotz kleiner Schwankungen ein deutliches Ansteigen verrät. Noch besser tritt diese Gesetzmäßigkeit zutage, wenn man aus den Zahlen der Zeile 7, die ein Maß für die durch Emanation und Induktion erzeugte Ionisierung sind, den auf die Emanation allein fallenden Betrag berechnet. Diese Berechnung ist in Zeile 9 nach Tabelle III der Arbeit des einen von uns durchgeführt.[1]) Zur Berechnung jeder einzelnen Zahl ist die Kenntnis der Zeit erforderlich, die vom Beginn des Beobachtungssatzes an vergangen ist. Da nun jede Einzelbeobachtung sich über eine gewisse Zeit erstreckt, so muß man hier eine mittlere Zeit annehmen (Zeile 8). Die „natürliche" Zerstreuung, in unserem Falle 0,31 Millivolt pro Sekunde, ist bei den Zahlen der Zeile 9 bereits in Abrechnung gebracht.

Die Zahlen der letzten Zeile weichen bis auf einen Extremwert nicht mehr als 5 % vom Mittelwert 4,16 ab. Da in den Abweichungen kein Gang zu erkennen ist, darf man wohl mit Recht behaupten, daß die untersuchte Emanation mit Radiumemanation identisch ist. Der Extremwert in Reihe 6 von oben erklärt sich ganz ungezwungen aus geringen Unregelmäßigkeiten im Wandern des Blättchens. Wir müssen immer daran denken, daß der Apparat im Freien aufgestellt war. Wind und vor allem Temperatureinflüsse können sich da sehr bemerkbar machen. So haben wir manchmal bemerkt, daß bei der Bestimmung der natürlichen Zerstreuung im Freien das Aluminiumblättchen zwischen zwei kleinen Teilstrichen hin- und herschwankte. Deshalb haben wir bei Korrektionsberechnungen für die natürliche Zerstreuung gewöhnlich den im Laboratorium gefundenen Wert benutzt.

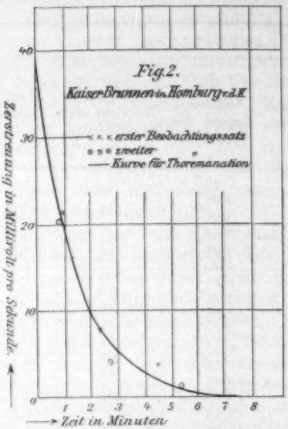
Störende Einflüsse sind in unserem Beispiel durch die Berechnungsweise möglichst beseitigt, indem eben eine große Anzahl Zwischenbeobachtungen verwertet ist. Wenn wir nur die 4 Beobachtungen 5,4—5,9, 5,9—6,4 etc. benutzt hätten, die zu 4 aufeinanderfolgenden Zeiten gehören, so wäre die Gesetzmäßigkeit in den Zahlen der Zeile 9 lange nicht so deutlich zutage getreten, da unter diesen zufällig gerade der bereits erwähnte Extremwert vorkommt. Unsere ersten Quelluntersuchungen, bei denen

1) l. c. 565. Wir sind uns wohl darüber im klaren, daß die zur Berechnung der Tabelle III benutzte Formel (1) nur eine Näherungsformel ist. Eine genauere Formel hat 5 Konstanten, die 3 Zerfallkonstanten von Radium A, B und C und 2 Quotienten, durch welche die verschiedene Ionisierungsfähigkeit der 3 $\alpha$-Strahlarten in die Rechnung eingeführt wird. Diese Quotienten sind von dem jeweiligen Untersuchungsgefäß in geringem Grade abhängig. — Für unsere im Freien gemachten Untersuchungen genügt völlig die benutzte Näherungsformel.

wir mit der Stechuhr jedesmal einen bestimmten Potentialabfall beobachteten, hatten deshalb lange nicht so gute Resultate ergeben. Man hatte hier eben nicht die Möglichkeit, das Wandern des Blättchens in der Zeit zwischen je zwei Einzelbeobachtungen in Rechnung zu ziehen.

Bei Quellen von stärkerer Aktivität als die des Musterbeispiels (das sich übrigens, wie wir ausdrücklich betonen, durchaus nicht durch besondere Regelmäßigkeit vor anderen Beobachtungssätzen auszeichnet) werden die durch äußere Einflüsse bedingten Unregelmäßigkeiten bedeutend weniger zu merken sein. Man kann da oft schon bei Beobachtungssätzen von knapp 10 Minuten Dauer die Frage nach der Art der Aktivität entscheiden. Dagegen ist bei schwächeren Aktivitäten bei unseren im Gelände gemachten Beobachtungen kaum mehr die Art der Emanation zu bestimmen. Gleich nach Einblasen der emanationshaltigen Luft in das Untersuchungsgefäß machen sich meistens — wohl infolge höherer oder niederer Temperatur der eingeführten Luft — die kleinen Unregelmäßigkeiten im Blättchenwandern besonders bemerkbar. Wenn sich diese meist auch nur über einen kleinen Skalenteil erstrecken (ca. 0,4 Volt), so lassen sie doch eine Gesetzmäßigkeit im Anstieg der Leitfähigkeit mit der Zeit nicht mehr erkennen. Ausgeschlossen ist es nicht, daß in solchen Fällen eine schwache Thoraktivität vorhanden war; nach einiger Zeit haben wir es sicher aber nur noch mit Radiumemanation zu tun, zumal da nach Ausblasen der emanationhaltigen Luft die Gefäßwände eine schnell abklingende Aktivität zeigen. Freilich läßt sich auch hier nicht zahlenmäßig feststellen, ob die Abklingung denselben Gesetzen folgt, wie bei den aus Radiumemanation entstandenen Produkten. — Bei stark aktiven Quellen bekommt man dagegen sehr schön die Kurven, die für die schnell zerfallenden Umwandlungsprodukte von Radium charakteristisch sind. (Vgl. weiter unten z. B. Fig. 8.)

Da wir in Tabelle 1 eine Quelle mit ausgesprochener Radiumaktivität kennen gelernt haben, wollen wir jetzt auch noch eine Quelle mit vorherrschender Thoraktivität als Beispiel anführen: den Kaiserbrunnen in Homburg v. d. H. Unsere Resultate sind aus Fig. 2 ersichtlich. Als Abszisse ist die Zeit vom Beginn der Beobachtung, als Ordinate die Zerstreuung in Millivolt pro Sekunde eingetragen. Die eingezeichnete Kurve ist die theoretische Kurve für das Abklingen von Thoremanation; an den experimentell gefundenen Werten ist eine schwache Radiumaktivität bereits in Abzug gebracht. — Ein zweiter Beobachtungssatz, der unter denselben Bedingungen angestellt wurde, ergab ganz ähnliche Resultate. Dagegen ließ ein dritter Beobachtungssatz, bei dem das Wasser zwischen




[Fig. 2.]

Abfüllen und Schütteln ca. 1/4 Stunde in der verschlossenen Flasche gestanden hatte, außer der schwachen Radiumaktivität nur noch eine ganz schwache, schnell abklingende Anfangsaktivität erkennen.

Obwohl wir bei den beiden ersten Beobachtungssätzen jedesmal nur 3 Punkte mit einiger Sicherheit festlegen konnten, so glauben wir doch aus Vergleichung der theoretischen und experimentellen Werte schließen zu dürfen, daß tatsächlich Thoremanation vorhanden war. In unserer Ansicht sind wir dadurch bestärkt worden, daß Sinter aus der untersuchten Quelle die radioaktiven Eigenschaften des Thors in starkem Maße besitzt. Von diesen Resultaten ist weiter unten die Rede. (Vgl. Fig. 9.)

Als Beispiel einer Quelle mit Thor- und Radiumemanation führen wir den Elisabethbrunnen in Homburg v. d. Höhe an (vgl. Fig. 3).

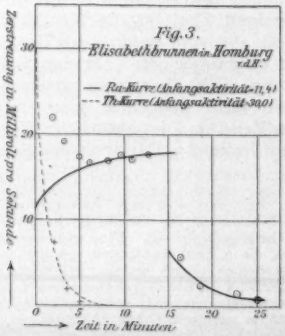



Fig. 3.

Die eingezeichneten Kreise sind experimentell gefunden. Berechnet man aus den 5 letzten Punkten, wie in Tabelle 1, die Größe der Zerstreuung zur Zeit 0, und aus diesem Wert (= 11,4 Millivolt/sec$^{-1}$) rückwärts den Anstieg der Leitfähigkeit, als wenn bloß Radiumemanation vorhanden wäre, so bekommt man die ausgezeichnete Kurve. [1]) Bildet man für die 3 ersten Punkte die Differenz der experimentell gefundenen Werte und der entsprechenden Kurvenpunkte und trägt diese Differenzen in das Kurvenblatt ein, so erkennt man, daß sich die so erhaltenen Punkte der Abklingungskurve für Thoremanation gut anschließen, wenn man deren Anfangsaktivität gleich 30 Millivolt pro Sekunde setzt.

Ein zweiter Versuch, bei dem das Wasser $^1/_4$ Stunde lang nach der Entnahme gestanden hatte, ließ trotz Störungen durch Wind direkt vom Beginn der Untersuchung an einen deutlichen Anstieg der Leitfähigkeit erkennen. Die Thoremanation war eben zur Untersuchungszeit bereits völlig abgeklungen.

Bei zwei unserer letzten Beobachtungen bemerkten wir eine ganz eigentümliche Erscheinung, deren Entstehung uns noch nicht klar ist: Beim Durchblasen der mit Wasser durchschüttelten Luft zeigte das Elektrometer, das wie immer negativ geladen war, eine sprungweise Ladungszunahme von ca. 5—10 Volt an. Dann trat ein langsamer, später ein schneller und schließlich wieder ein langsamer Ladungsverlust ein, wie er durch Fig. 4 angedeutet wird. Bei den jedesmal angestellten Kontrollversuchen war der Verlauf ganz ähnlich. Wir versuchten im Laboratorium dieselbe Erscheinung zu erhalten unter Anwendung von Überdruck oder kalten Wassers (die untersuchte Quelle hatte nämlich viel freie Kohlensäure und war kalt). Manchmal zeigte beim Durchblasen der durchschüttelten Luft das Elektrometer tatsächlich bei negativer Ladung eine Ladungszunahme, bei positiver Ladung eine Ladungsabnahme an. In den meisten Fällen jedoch erhielten wir, unter scheinbar denselben äußeren Bedingungen, diese Ladungszunahme nicht. Ein nach der anfänglichen Ladungszunahme auftretender Ladungsverlust, wie er durch Fig. 4 angedeutet wird, ist bei den im Laboratorium angestellten Versuchen nie eingetreten: das Elektrometer behielt seine Ladungszunahme bei.

Obwohl wir bisher diese Versuche auf alle mögliche Weise variiert haben, ist es uns nicht gelungen, die Bedingungen und die Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung festzustellen. Vielleicht kann Luft beim Schütteln oder Durchblasen in bestimmten Fällen elektrisiert werden (sog. Wasserfallelektrizität) oder es können sich Wassertröpfchen nur an den negativen Ionen kondensieren, auf die Elektrode fallen und dadurch Ladungszunahme herbeiführen. (C. T. R. Wilsons Versuch [1]), daß negative Ionen eher Kondensationskerne sind als positive.) Auf jeden Fall erklärt sich dadurch noch nicht der später wieder eintretende Ladungsabfall, wie er durch Fig. 4 angedeutet ist. [2])

Unsere Versuchsresultate sind nach der geographischen Lage der Quellen geordnet und in Tabellen zusammengefaßt. Außerdem haben wir Kurven beigegeben, um dadurch zu zeigen, wie deutlich der Charakter der Emanation aus den Beobachtungen zu erkennen ist. Wir wollen hier das von uns verwandte Schema an Tabelle 2 (Odenwälder Quellen) und Fig. 5 erläutern. Die ersten 3 Reihen erklären sich wohl von selbst. In Reihe 4 steht die Gesteinsart, aus der die Quellen kommen. Die Angaben dieser geologischen Verhältnisse verdanken wir Herrn Prof. Kaiser-Gießen, dem wir auch an dieser Stelle für seine liebenswürdige Hilfe unsern besten

1) 15 Min. nach Beginn wurde die Emanation ausgeblasen. Der zweite Teil der ausgezeichneten Kurve ist also ein Maß für die auf den Gefäßwänden induzierte Aktivität.

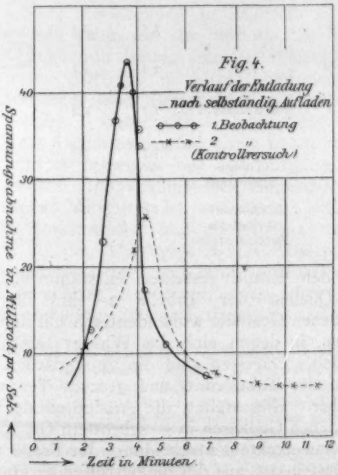



Fig. 4.

1) C. T. R. Wilson, Phil. Trans. A. **193**, 289, 1899.

2) Wir haben unsere Beobachtungsprotokolle daraufhin durchgesehen, ob die beschriebene Erscheinung vielleicht auch bei anderen Beobachtungssätzen aufgetreten ist, ohne daß wir während des Versuchs darauf geachtet haben. Mit Bestimmtheit haben wir das nicht mehr nachweisen können. Bei einigen zweifelhaften Versuchen, die wir in dieser Mitteilung weggelassen haben, hoffen wir später unter Einschaltung einer geerdeten, mit Metallwolle oder einem Trockenmittel gefüllten Röhre einwandsfreie Resultate zu erzielen. Bei den mitgeteilten Versuchen halten wir, zumal wir stets mit negativ geladenem Elektrometer arbeiteten, für ausgeschlossen, daß uns radioaktive Emanationen nur vorgetäuscht sind.

Tabelle 2.

Quellen im Odenwald

| 1. Ort | 2. Quelle | 3. Temperatur | 4. Gestein | 5. Milliv. pro Sekunde | 6. $i \cdot 10^3$ | 7. Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Balkhausen. | 1. „Hirtenbrunnen"; in Stein gefaßt; Wasser fließt ständig zu. | 10,3° | Granit | 18,8 | 12,5 | *Ra*, vgl. Fg. 5 |
| „In der Brunnenecke" im Balkhäuser Tal. | 2. Übermauerte Quelle. Wasser ca. 6 m von der Quelle einem hölzernen Leitungsrohr entnommen. | 10,3° | „ | 8,5 | 5,7 | *Ra*, vgl. Fg. 5 |
| Nahe der Wirtschaft zur „Riesensäule" im Balkhäuser Tal. | 3. Quelle als Brunnenstube ausgemauert. | 10,0° | „ | 11,5 | 7,7 | *Ra*, vgl. Fg. 5 |
| Desgl. | 4. Quelle, 15 m von Quelle 3. entfernt; gefaßt wie 3. | 10,0° | „ | 13,4 | 8,9 | *Ra* |
| Am Diebsbruch zwischen Traisa und Bessunger Forsthaus bei Darmstadt. | 5. „Diebsbrunnen", gefaßter laufender Brunnen, fingerdick. | 11,2° | ? | 3,7 | 2,5 | *Ra* |
| Am Franzosenberg zwisch. Darmstadt und Traisa. | 6. „Albertsbrunnen", gefaßter laufender Brunnen, fingerdick. | 10,0° | Rotliegendes | 5,8 | 3,9 | *Ra* |
| Grenze der Gemarkungen Seeheim und Malchen. | 7. Quelle im „Weidenrech", kommt direkt aus Fels. | 10,0° | Granit | 8,0 | 5,3 | Wind störend, doch allem Anschein nach *Ra* |
| Lichtenberg i. O. | 8. „Eselsbrunnen", 1 qm Oberfläche, 1 m tief, in Sandsteingewölbe gefaßt. | 9,8° | Gabbrogang durch Granit | 5,6 | 3,7 | *Ra*, vgl. Fg. 5 |
| Steinau i. O. | 9. „Rittersbrunnen" fließt daumendick aus Metallrohr. | 8,2° | Diorit | 5,8 | 3,9 | *Ra* |
| „ | 10. Quelle im Dioritsteinbruch, fließt strohhalmdick direkt aus Fels. | 11,8° | „ | 5,9 | 3,9 | *Ra* |
| Straße zwischen König und Kimbach. | 11. „Erlenbrunnen", kommt aus kleiner Sandsteinhöhle, fließt in 3 daumendicken Strahlen ab. | 9° | Buntsandstein | 1,4 | 0,9 | — |
| Straße zwischen König und Kimbach. | 12. „Gesundheitsbrunnen", als laufender Brunnen gefaßt. | 10,3° | „ | 4,9 | 3,3 | *Ra* |
| König i. O. | 13. „Gustav- und Marienquelle", 21 m tiefe manganhaltige Stahlquelle, springt in dünnem Strahl. | 13° | „ | 2,2 | 1,4 | — |
| Wiesengrund bei Kimbach i. O. | 14. Quelle als Brunnenstube gefaßt, fließt ins Dorf ab. | 9,8° | „ | 3,4 | 2,3 | (Wind störend) |
| Hangemühle. | 15. Starke Quelle, Abfluß treibt ein Mühlrad. | 8,3° | „ | 3,5 | 2,4 | schnell abklingende Induktion |
| Kapelle bei Amorbach. | 16. „Amorsbrunnen" (Wallfahrtsort), läuft armsdick ab. 4 m tief. | 10,0° | Kies | 2,3 | 1,5 | schnell abklingende Induktion |
| An der Kapelle zu Schöllenbach. | 17. Brunnen, fließt erst unter der Kapelle, um dann als kleiner Bach zutage zu treten. | 8,6° | Buntsandstein | 1,7 | 1,2 | — |
| Beerfelden i. O., auf dem Marktplatz. | 18. Quelle der Mümling, fließt aus 12 laufenden Brunnen. | 9,7° | „ (Tonige Schichten) | 5,7 | 3,8 | *Ra* |
| Offenbach. | 19. „Kaiser Friedrich-Quelle". 275 m tief. Wasser an der Regulierpumpe entnommen. | 19,5° | Quelle entspringt im Buntsandstein | 1,8 | 1,1 | schnell abklingende Induktion |

Dank aussprechen.[1]) Natürlich ist eine Bestimmung der Gesteinsart, aus der die Quelle kommt, stets mit einer gewissen Unsicherheit verknüpft. Wenn z. B. eine Quelle in Buntsandstein zutage tritt, so kann das Wasser recht wohl darunterliegenden Eruptivgesteinen entstammen. Bei den Quellen der Tabelle 2 sind die angegebenen Gesteine wohl identisch mit den Gesteinen, in denen sich das Wasser tatsächlich sammelt. Dagegen sind die geologischen Angaben der Tabellen 6 und 7 zum Teil recht unsicher. Hier stehen die Ansichten der verschiedenen Geologen in so schroffem Gegensatz, daß eine exakte Entscheidung der Frage nach der Gesteinsart, aus der die betreffenden Quellen kommen, vorläufig aussichtslos erscheint. Und

[1]) Bei den Heilquellen sind die Angaben über Tiefe, Stärke, Temperatur und geologische Verhältnisse zum Teil entnommen aus „Deutschlands Heilquellen und Bäder". Herausgegeben vom Kaiserlichen Gesundheitsamt zu Berlin, gelegentlich der Pariser Weltausstellung 1900. Berlin 1900, Oswald Seehagens Verlag.

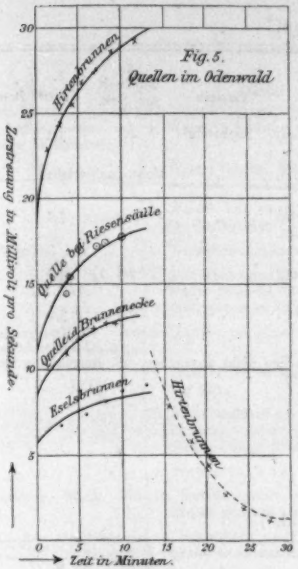



Fig. 5.

selbst wenn wir die Schichten kennen, in denen das Wasser gebildet wird, so ist damit noch gar nicht gesagt, daß auch die radioaktiven Substanzen aus diesen Schichten stammen. Sie können beim Durchfließen durch höherliegende Schichten aus diesen aufgenommen werden.

In der fünften Reihe steht die im Apparat beobachtete Zerstreuung in Millivolt pro Sekunde, und zwar nur der auf die Emanation allein entfallende Betrag, da die Wirkung der induzierten Aktivität in Abrechnung gebracht ist. Berechnet sind diese Zahlen wie in Zeile 9 der Tabelle 1 unter der Voraussetzung, daß wir es mit Radiumemanation allein zu tun haben; natürlich ist jedesmal nur der Mittelwert für den ganzen Beobachtungssatz hingeschrieben. Aus diesem Mittelwert ist zunächst mit Hilfe der Apparatkonstanten [1]) und der Hofmannschen Zahlen für die Abhängigkeit des Absorptionskoeffizienten von der Temperatur [2]) der Sättigungsstrom berechnet, den die in einem Liter Quellwasser enthaltene Menge Emanation in unserem Untersuchungsgefäß zu unterhalten imstande ist. Der so berechnete Sättigungsstrom ist, wie Duane gefunden [1]), nicht streng ein absolutes Maß für die vorhandene Emanation. Denn bei einem kleinen Gefäß werden durch die Gefäßwände im Verhältnis viel mehr Strahlen absorbiert werden, als in einem großen. Falls alle Strahlen ionisierend wirken können, muß der gemessene Sättigungsstrom multipliziert werden mit:

$$f = \frac{1}{1 - c \cdot S/V},$$

wo $S$ die Oberfläche, $V$ den Inhalt des Untersuchungsgefäßes bedeutet und $c$ sich aus den von Duane empirisch gefundenen Konstanten zu 0,52 berechnet. Bei dem einen unserer Apparate ist $S/V = 1{,}17$, also $f = 2{,}55$. Wir haben in Zeile 6 den nach Duane korrigierten Wert gegeben, da dieser von den Versuchsbedingungen völlig unabhängig ist. [2]) — In der letzten Zeile steht eine Bemerkung über das Resultat der Untersuchung.

In Figur 5 ist als Abszisse die Zeit vom Beginn der Beobachtung, als Ordinate die Zerstreuung in Millivolt pro Sekunde eingetragen. Wir haben also hier eine graphische Darstellung von Zeile 7 und 8 der Tabelle 1 vor uns. Die eingezeichneten Kurven sind so erhalten, daß aus dem in Tabelle 2, Zeile 5 gegebenen Mittelwert berechnet ist, wie die Zerstreuung bei Anwesenheit von Radiumemanation zunehmen würde. [3]) Die markierten Punkte sind experimentell bestimmt und gewöhnlich der Mittelwert aus 3 oder mehr Einzelwerten; die Einzeichnung von mehr Punkten würde bei dem gewählten Maßstab nämlich nur verwirrend wirken. In Figur 5 ist außerdem noch eine gestrichelte Kurve eingezeichnet, die das Verschwinden der an den Gefäßwänden haftenden induzierten Aktivität zeigt.

Ein Vergleich zwischen eingezeichneten Kurven und Punkten läßt erkennen, daß die Emanation in den 4 graphisch erläuterten Fällen ausgesprochenen Radiumcharakter hat. Auch die Emanation der übrigen Quellen der Tabelle 5 hat, soweit sich das entscheiden läßt, ausgesprochenen Radiumcharakter. Zur Tabelle 2 selbst ist noch zu bemerken, daß die Quellen aus vulkanischem Gestein durchweg stärker aktiv sind, als die Quellen aus dem großen Buntsandsteingebiet des östlichen Odenwaldes.

Es folgen jetzt die Tabellen 3 bis 8 und die

1) Vgl. H. W. Schmidt, l. c. Formel 3. — Bei dem einen der von uns benutzten Apparate — wir haben nämlich zwei sehr ähnliche Apparate bei unseren Untersuchungen gebraucht — ist für eine Temperatur von $10^0$ $a = 11{,}4$. Die Kapazität $C$ wurde nach der Harmsschen Methode zu 7,77 cm bestimmt.

2) R. Hofmann, diese Zeitschr. **6**, 337, 1905. — Benutzt sind die später von Mache u. Meyer angegebenen, wahrscheinlich genaueren Zahlen (diese Zeitschr. **6**, 695, 1905).

1) W. Duane, Journ. de Phys. (4) **4**, 605, 1905, Formel (3).

2) Diese Korrektion ist unseres Erachtens von anderen Beobachtern bisher bei Emanationsbestimmungen nicht angebracht worden. Der Korrektionsfaktor wird bei den nach der Zirkulationsmethode gemachten Beobachtungen freilich kleiner sein, da das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen ($S/V$) hier viel kleiner ist als bei uns.

3) Vgl. H. W. Schmidt, l. c. Tabelle 3.

Tabelle 3.

Quellen im Spessart.*)

| 1. Ort | 2. Quelle | 4. Gestein | 5. Millivolt pro Sek. | 6. $i \cdot 10^3$ | 7. Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|
| Sodental bei Sulzbach. | 1. „Augustquelle" (Säuerling), Wasser aus Brunnenstube. | Zechstein | 4,7 | 3,3 | *Ra* |
| „ | 2. „Karlquelle", bromhaltig, schwacher Zulauf durch lange Röhrenleitung. | „ | nicht nachweisbar | | — |
| „ | 3. „Albertquelle", starke Sole, starker Zulauf, wird aus einer Tiefe von 18 m in die Höhe gepumpt. Wasser im Badehaus entnommen. | „ | 10,0 | 7,1 | *Ra* |
| „ | 4. „Sofienquelle", schwache Sole, kommt vom Berg nördl. Sodental. | „ | 3,8 | 2,7 | — |
| „ | 5. Süßwasserleitung, kommt von der „Hohen Wart". („Froschquelle".) | „ | 5,5 | 3,9 | — |

*) Die Temperatur ist, wenn in dieser und den folgenden Tabellen nicht angegeben, bei Berechnung der Zeile 6 zu $10^0$ angenommen.

Tabelle 4.

Quellen im Westerwald.*)

| 1. Ort | 2. Quelle | 4. Gestein | 5. Millivolt pro Sek. | 6. $i \cdot 10^3$ | 7. Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|
| Wiesengrund 150 m südl. Bhf. Erdbach. | 1. Ziemlich starke Quelle, führt bröckliges Gestein mit sich. | Diabas (Devon) | 6,7 | 4,9 | *Ra*, vgl. Fg. 6, IIa |
| | 2. Schwächere Quelle, etwas weiter unterhalb 1., sehr klar. | „ | 9,6 | 7,1 | *Ra*, vgl. Fg. 6, II |
| | 3. Quelle 30 m unterhalb von 2., geht erst einige Zeit durch lockeren Wiesenboden. | „ | 6,0 | 4,4 | *Ra* |
| Erdbach. | 4. Wasserleitung. | Kalk (Devon) | 1,5 | 1,1 | — |
| Wiesental 200 m nördlich von Erdbach. | 5. Armstarke Quelle. | „ | 0,7 | 0,5 | — |
| 500 m südwestl. Erdbach. | 6. Wasser des Erdbachs, nach dem er 4 bis 5 Stunden unterirdisch in Kalkstein geflossen. | „ | 0,6 | 0,4 | — |
| Erdbacher Tunnel, Bahn Herborn-Westerburg. | 7. Quelle am nördlichen Tunneleingang, nachdem sie 6 m in einem halboffenen Kanal geflossen. | Diabas | 1,7 | 1,3 | — |
| Bahneinschnitt 1 km südl. des Erdbacher Tunnels. | 8. Eine der zahlreichen an der Grenze zwischen Schalstein und Diabas austretenden sehr schwachen Quellen. | Diabas-Schalstein | 3,2 | 2,4 | (Wind störend) |
| „ | 9. Eine andere dieser Quellen, nahe bei 8. | „ | 3,3 | 2,4 | (Wind störend) |
| Bahnhof Schönbach. | 10. Gut laufende Quelle. | Diabas | 8,0 | 5,9 | vgl. Fg. 6, III *Ra*, doch erst 30' nach Entnahme untersucht |
| Wiese links der Straße Schönbach-Roth, 500 m vom Ausgang des Dorfes Schönbach. | 11. Eine der zahlreichen auf dem Quellenhorizont [Tertiär-Devon] austretenden Quellen. | Basalttuff (Tertiär) | 12,2 | 9,0 | *Ra*, vgl. Fg. 6, I und (I) |
| „ | 12. Andere schwächere Quelle, die erst einige Zeit in der Wiese in lockerem Boden läuft. | „ | 3,8 | 2,8 | *Ra*, vgl. Fg. 6, Ia |

*) Bei diesen Untersuchungen führte uns Herr cand. r. n. Reuning, der im Westerwald mit petrographischen Studien beschäftigt war.

Tabelle 5.
Umgebung von Gießen.

| 1. Ort | 2. Quelle | 4. Gestein | 5. Millivolt pro Sek. | 6. $i \cdot 10^3$ | 7. Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|
| Gießener Wasserwerk in Queckborn (Vogelsberg) | 1. Wasser der Pumpe entnommen. | Basalt (Tertiär). | 2,1 | 1,5 | *Ra* |
| Daselbst. | 2. Wasser einem Bohrloch entnommen, läuft ziemlich stark. | " | 3,7 | 2,7 | *Ra* |
| Daselbst. | 3. Wasser aus einer Sickerstelle im Quellgebiet. | " | 3,7 | 2,7 | *Ra*, vgl. Tab. I |
| Gießen, Physikal. Inst. | 4. Wasserleitungswasser. | " | 2,0 | 1,5 | *Ra**) |
| Forsthaus Hochwart an der Straße Gießen-Lich. | 5. „Lumpmannsbrunnen", laufender Brunnen, fließt daumendick, 500 m in Röhren geleitet. | " | 2,4 | 1,8 | — |
| Braunsteinbergwerk in der Lindener Mark bei Gießen. | 6. Quelle im Maschinenschacht. | Dolomitischer Kalk (Devon) | 1,0 | 0,7 | — |
| " | 7. Quelle im Maschinenschacht vor Ort. | Wechsel von Weißkalk und Manganeisen. (Devon) | 1,0 | 0,7 | — |
| " | 8. Stark kalkhaltige Quelle im Schacht unter der Straße Gießen-Leihgestern. | Schwimmsand (Tertiär) | 1,0 | 0,7 | — |
| " | 9. Wasserleitung. | Schwimmsand (Tertiär) | 0,7 | 0,5 | — |
| Klein-Lindener Mark bei Gießen. | 10. Gefaßte Quelle, wird 5 m im Boden geführt. | Tertiärer Sand | 1,4 | 1,0 | — |
| Straße Gießen-Daubringen, 1 km westlich vom Hangelstein. | 11. Schwache Quelle im Wiesengrund links der Straße. | Tertiärer Ton | 6,1 | 4,5 | — |
| Fronhausen (15 km nördlich von Gießen.) | 12. Laufender Brunnen. | ? | 4,3 | 3,2 | — |
| „Am Vogelherd", $1/_2$ km südsüdöstl. Forsthaus Kappel bei Marburg. | 13. Schwache Quelle. | Buntsandstein (tonige Schichten | 5,0 | 3,7 | — |
| Pfad von Marburg nach dem Frauenberg, im Eselsgrund. | 14. Sehr schwache Quelle trübes Wasser. | Buntsandstein | 1,4 | 1,0 | — |
| „Heukratsruhe", links der Straße Marburg-Oberseelbach. | 15. Quelle, läuft kleinfingerdick. | " | 1,4 | 1,0 | — |
| " | 16. Sehr schwache Quelle. | " | 1,0 | 0,7 | — |
| Straße Marburg-Schröck. | 17. „Elisabethbrunnen", schwach, fließt erst einige Zeit in weitem Rohr. | " | 1,2 | 0,9 | — |

*) Wasser aus einem Kran, der nicht viel benutzt wurde, hatte nur halb so starke Aktivität; bei Wasser aus dem Turmzimmer des Instituts, das sehr lange nicht betreten war, konnte eine Aktivität nicht mehr nachgewiesen werden.

Figuren 6 bis 8a mit kurzen Anmerkungen dazu. Die Tabellen und Kurven erklären sich ja nach dem früher Gesagten größtenteils von selbst.

Über die geologischen Verhältnisse der Spessartquellen (Tab. 3) war nichts Genaueres zu ermitteln.

Von den Westerwälder Quellen (Tab. 4) sind die aus Eruptivgesteinen (Basalttuff, Diabas) am stärksten aktiv. Sehr schwach sind Quellen aus Kalk. — Bei einigen Quellen, die nicht direkt an der Austrittsstelle untersucht werden konnten, ist der dadurch bedingte Emanationsverlust deutlich erkennbar.

Recht schwach aktiv sind die Quellen im Braunsteinbergwerk. (Vgl. Tab. 5.)

Die kohlensäurehaltigen Quellen, die am südöstlichen Taunusrand und in der Wetterau vorkommen (vgl. Tab. 6 u. 7), stehen sicher in irgendwelchem Zusammenhang. Viele dieser Quellen, vor allem die, welche aus großer Tiefe kommen (Nauheimer Sprudel, Vilbeler Sprudel) und sehr viel Wasser führen, besitzen auffallend geringe Aktivität. Die mehr oberflächlichen Quellen, z. B. die Bad Sodener, der Nauheimer Karls- und Kurbrunnen, sind durchweg stärker aktiv. — In Nauheim kommt das Wasser aus einer großen Verwerfungsspalte im Devon; nach Lepsius soll ein Teil dieses Wassers oberflächlich weiter fließen und als „Karls- und Kurbrunnen" zutage treten. Da diese beiden Brunnen stark aktiv sind, müßte also, falls die Lepsiussche Ansicht richtig ist, die Emanation in den diluvialen

## Tabelle 6.

### Quellen in der Wetterau.

| 1. Ort | 2. Quelle | 3. Temperatur | 4. Gesteine | 5. Millivolt pro Sek. | 6. $i \cdot 10^3$ | 7. Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Salzhausen. | 1. „Stahlquelle", sehr schwach, 0,24 hl pro Stunde. | — | Die Quellen treten am Fuße von Basalthöhen in einem starken Lager lockern Triebsandes (Tertiär) unter einer torfhaltigen Moorfläche zutage. | nicht nachweisbar aktiv | | — |
| „ | 2. „Schwefelquelle", strohhalmdick, 0,46 hl pro Stunde. | — | „ | 1,2 | 0,8 | schnell abklingende Induktion |
| „ | 3. „Quelle I", Sole, direkt bei der Pumpe entnommen. | — | „ | 3,0 | 2,1 | |
| „ | 4. „Quelle III", Sole, wird in die Höhe gepumpt. | — | „ | nicht nachweisbar aktiv | | — |
| „ | 5. „Lithiumquelle", läuft aus dem Rohr direkt am Ursprung, 4,65 hl pro Stunde. | — | „ | 3,0 | 2,1 | schnell abklingende Induktion |
| „ | 6. Trinkwasserleitung, Wasser dem Reservoir entnommen. | — | „ | 2,2 | 1,6 | |
| „ | 7. „Schäferbrünnchen", gefaßte Quelle, läuft kleinfingerstark aus. | 8° | „ | 0,9 | 0,7 | — |
| 1 km nördlich Echzell. | 8. „Römerbrunnen", liefert 34—35 l pro Minute, Tafelwasser, direkt am Brunnen entnommen. | — | Wahrscheinlich Zechsteinkalke und Salze | nicht nachweisbar aktiv | | — |
| Schwalheim. | 9. „Sauerbrunnen", stark $CO_2$-haltig, 18 hl pro Stunde. | 10,6° | Tertiärer Quarzsand an einem Basalthügel geleg. | 22,0 | 16,2 | *Ra* |
| „ | 10. „Germaniabrunnen", Tafelwasser, 100 hl pro Stunde. | 10,5° | Quarzsandlager | 8,6 | 6,3 | *Ra* |
| 500 m nördlich Wisselsheim, dicht a. der Wetter. | 11. „Seltersbrunnen", kohlensäurehaltige Solquelle; weder gefaßt noch benutzt, schmutziges Wasser. | — | ? | 14,5 | 10,7 | *Ra* |
| Straße Wisselsheim-Steinfurth am Eichberg. | 12. Sauerbrunnen, gefaßt, Tafelwasser. | — | Devonisch. Schiefer und Grauwacke | 10,4 | 7,6 | *Ra* |
| Großkarben. | 13. „Taunusbrunnen", Tafelwasser, ca. 50 l pro Minute, viel $CO_2$; steht ruhig, 20 m tief gefaßt. | 11,0° | Kies | 3,4 | 2,2 | schnell abklingende Induktion |
| „ | 14. „Selzerbrunnen", Tafelwasser, ca. 70 l pro Minute, kommt stark sprudelnd herauf, viel $CO_2$. 4 m tief. 48 hl pro Stunde. | 12,5° | „ | 4,8 | 3,1 | ziemlich unregelmäßige Beobachtung |
| Vilbel | 15. „Hassia-Sprudel", gebohrt, armdicker Sprudel, viel $CO_2$. | 11,5° | Rotliegendes | 1,9 | 1,2 | — |
| | 16. „Hassia-Mineralbrunnen", $CO_2$-haltiger, 7 m tief gegrabener Brunnen, ca. 20 m von 15 entfernt. „Viktoria-Melitta-Sprudel", stark $CO_2$-haltig, springt mit Aufsatz 14 m hoch. | 12° | „ | 8,2 | 5,4 | *Ra* |
| | 17. Heraussprudelndes Wasser. | 11,7° | „ | 1,4 | 0,9 | — |
| | 18. Wasser einem seitlichen Ansatzrohr entnommen. | 11,7° | „ | 2,0 | 1,3 | — |
| | 19. Gegrabener, etwas $CO_2$-haltiger Brunnen, 3 m vom Viktoria-Melitta-Sprudel entfernt. | — | „ | 4,5 | 3,0 | schnell abklingende Induktion |

Tabelle 7. Quellen am südöstl. Taunusrand.

| 1. Ort | 2. Quelle | 3. Temperatur | 4. Gestein | 5. Millivolt pro | 6. $i \cdot 10^3$ | 7. Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bad Nauheim. | Sprudel XII, 180 m tief, $CO_2$ 460 hl pro Stunde. | 33,5° | Verwerfungsklüfte im devonisch. Kalk | | | |
| | 1. Wasser dem Bassin entnommen. | — | — | 2,3 | 1,3 | — |
| | 2. Wasser dem Zapfhahn am Hauptzuleitungsrohr entnommen. Abstellschieber nach den Badehäusern offen. Überdruck 0,4 Atm. | 33° | — | 2,8 | 1,6 | — |
| | 3. Wasserentnahme wie bei 2., aber Abstellschieber nach den Badehäusern geschlossen. Überdruck 0,7 Atm. | 33° | — | 2,4 | 1,4 | — |
| | 4. Sprudel XIV, 209 m tief, $CO_2$. | 31,4° | Verwerfungsklüfte im devonisch. Kalk | 2,5 | 1,5 | — |
| | 5. Sprudel VII, 139 m tief, $CO_2$ 360 hl pro Stunde. | 31,6° | | 3,0 | 1,8 | — |
| | 6. Wasserleitungswasser*). | 12,0° | Basalt | 3,5 | 2,3 | — |
| | „Karlsbrunnen", $CO_2$-haltig. | | | | | |
| | 7. 1. Aufnahme. | 15,0° | Flachgefaßte Quellen in tertiär oder diluvialen Ablagerungen an der Usa | 45,0 | 28,6 | *Ra*, doch sind die Beobachtung. erst ca. 5—10′ nach Einfüllen des Wassers gemacht |
| | 8. 2. Aufnahme an einem anderen Tag. | 15,0° | | 40,0 | 25,4 | |
| | 9. „Kurbrunnen". | 21,0° | | 40,0 | 25,4 | |
| | 10. „Ludwigsbrunnen", 63 m tief. | 18,3° | Devonisch. Quarzit | 1,0 | 0,6 | — |
| Ober-Rosbach v. d. Höhe. | 11. Rosbacher Brunnen, im Besitze einer englischen Gesellschaft, 4,5 m tief, $^3/_4$ l pro Sekunde, Tafelwasser. | — | Alte Taunusgesteine | 14,0 | 9,9 | *Ra* |
| | 12. 2. Brunnen, nahe bei 11., kann von den Umwohnern benutzt werden. | — | „ | 20,0 | 14,2 | *Ra* (Wind störend) |
| Bad Homburg v. d. Höhe. | 13. „Ludwigsbrunnen", $CO_2$-haltig 40 m tief; 9,6 hl pro Stunde. | 11,9° | Taunusschiefer und Quarzit | 4,5 | 3,2 | — |
| | 14. „Elisabethbrunnen", $CO_2$-halt. 10 m tief; 2,9 hl pro Stunde. | 10,6° | „ | 11,4**) | 8,0 | Vgl. Fg 3, *Ra* u. *Th* (Anfangsaktivit. = 30 Millivolt sec$^{-1}$) |
| | 15. „Stahlbrunnen", $CO_2$-haltig. 46 m tief; 1,1 hl pro Stunde. | 11,0° | „ | 5,6 | 4,0 | (Wind störend) |
| | 16. „Landgrafenbrunnen", $CO_2$-halt, geht ca. 150 m. vom Ursprung aus in Rohrleitung unter der Erde. 150 m tief; 10,4 hl pro Stunde. | 11,0° | „ | 1,4 | 1,0 | — |
| | 17. „Luisenbrunnen", $CO_2$-halt., läuft spärl. 27 m tief; 4,2 hl pro Stde. | 11,2° | „ | 3,3 | 2,3 | — |
| | 18. „Kaiserbrunnen", $CO_2$-haltig. 70 m tief; 8 hl pro Stunde. | 11,5° | „ | 4,0**) | 2,8 | Vgl. Fg. 2, *Th* (Anfangsaktivit. = 40 M.-V. sec$^{-1}$) u. *Ra* |
| Bad Soden am Taunus | 19. „Schwefelbrunnen", gefaßt, $CO_2$ Perlen. | 13,8° | Taunusphylitt | 25,4 | 16,4 | |
| | 20. „Wilhelmsbrunnen", gefaßt, läuft etwas stärker als 19. | 14,0° | „ | 28,0 | 18,2 | |
| | 21. „Wiesenbrunnen", gefaßt, starke $CO_2$ Entwickelung. | 12,0° | „ | 16,2 | 10,6 | *Ra*, vgl. Fg. 7 |
| | 22. „Warmbrunnen", fließt fingerstark aus dem Rohr. | 17,2° | „ | 7,0 | 4,5 | |
| | 23. „Milchbrunnen", läuft fingerdick aus dem Hahn. | 18,0° | „ | 9,6 | 6,0 | |
| | 24. „Champagnerbrunnen", läuft fingerdick. | 11,3° | „ | 33,0 | 21,9 | *Ra*, vgl. Fg. 7 |
| | 25. „Solbrunnen", läuft aus 2 Röhren fingerdick. | 16,3° | „ | 6,7 | 4,3 | — |
| Bad Weilbach am Taunus. | 26. „Schwefelquelle", läuft aus 4 Röhren je fingerdick. 5 m tief; 21 hl pro Stunde. | 14° | Tertiärer Kalk | 2,6 | 1,7 | — |
| | 27. „Natron-Lithionquelle". 5 m tief; 3,6 hl pro Stunde. | 12° | Letten (Tertiär) | 5,2 | 3,4 | unregelmäß. Beob. |

*) Kommt aus dem Vogelsberg. **) Betrag für Radiumemanation allein.

Tabelle 8

Quellen im Nahethal.

| 1. Ort | 2. Quelle | 3. Temperatur | 4. Gestein | 5. Millivolt pro Sek. | 6. $i \cdot 10^3$ | 7. Bemerkungen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bad Kreuznach | 1. „Viktoriaquelle", Wasser dem Bohrloch entnommen. Quelle liegt dicht am Naheufer. 200 m tief; 40 hl pro Stunde. | 10,4° | Porphyr | 8,4 | 5,5 | *Ra*, vgl. Fg. 8. |
| | 2. „Elisabethbrunnen", Wasser wird in die Höhe gepumpt, dem Trinkhahn entnommen. Tiefe des Bohrlochs: 71 m. | 9,6° | „ | 19,5 | 13,0 | *Ra* |
| | 3. „Neue Quelle", in unmittelbarer Nähe des Elisabethbrunn. Wasser wird i. d. Höhe gepumpt. | 12,5° | „ | 4,15 | 2,7 | *Ra* |
| | 4. „Oranienquelle", nicht weit vom Naheufer. Brunnenschacht. Das Wasser mit Eimer vom Grund des Brunnens geholt. 100 hl pro Stunde. | 10,0° | „ | 26,8 | 17,4 | *Ra* |
| | 5. „Inselquelle", ca 100 m von der Oranienquelle entfernt, sprudelt armdick. Tiefe des Bohrlochs: 45 m. | 12,6° | „ | 31,2 | 20,4 | *Ra*, vgl. Fg. 8. |
| | 6. „Neue Bäderquelle" an der Nahe; Wasser dem Bohrloch entnommen. (Einer Seitenöffnung des Hauptrohrs abgezapft.) | 12,3° | „ | 23,3 | 15,2 | *Ra* |
| | 7. „Hauptbäderquelle" an der Saline Karlshalle; Wasser mit Flasche dem Bohrloch entnommen. Tiefe des Bohrlochs: 140 m. 400 hl pro Stunde. | 19° | „ | 19,0 | 11,8 | *Ra*, vgl. Fg. 8. |
| | 8. Quelle Theodorshalle am Gradierhaus I, Wasser dem Trinkrohr entnommen. Tiefe des Bohrlochs: 165 m. | 7,1° | „ | 9,6*) | 6,6 | *Ra* u. *Th*, vgl. Fg. 8a. |
| | 9. Dieselbe Quelle, Wasser d. Bohrloch entnommen. | 7,1° | „ | 12,2 | 8,4 | — |
| | 10 Quelle am Gradierhaus No 2, gegrabener Schacht, Wasser vom Grund geholt. | 16,2° | „ | 14,5 | 9,2 | *Ra* (u. ?) |
| | 11. Hauptbrunnen am Gradierhaus No. 3, Wasser dem Bohrloch entnommen. | 23° | „ | 22,4 | 13,7 | *Ra*, vgl. Fg. 8. |
| | Quelle am Haus No. 5. | 24° | „ | — | — | *Ra* |
| | 12. I. Untersuchung vom 4. Okt. 05. Wasser spritzt aus einem gelockerten Verschluß am Hauptrohr der Pumpe. | — | | 28,0 | 17,0 | |
| | 13. II Untersuchung vom 15. Oktober. Wasser in dickem Strahl aus dem Pumpenrohr. | | | 45,3 | 27,6 | |
| | III. Untersuchung vom 29. Oktober. | | | | | |
| | 14. Wie 12. | | | 28,0 | 17,0 | |
| | 15. Wie 13. | | | 29,8 | 18,2 | |
| | 16. Wasser vom Grund der Quelle (150 m Tiefe) geholt. | | | 40,5 | 24,6 | *Ra*, vgl. Fg. 8. |
| Bad Münster am Stein | 17. „Solquelle" No. 2. Wasser dem Quellschacht entnommen. 37 hl pro Stunde. | 22° | Melaphyr | 22,2 | 13,6 | *Ra* |
| | 18. „Hauptbrunnen". Wasser der Quelle direkt entnommen.**) 7,5 hl pro Stunde. | 30,6° | „ | 39,8 | 23,4 | *Ra* |

*) Betrag für Radiumemanation allein. Der Betrag für Thoremanation ist ungefähr gerade so stark.

**) Wasser vom Münsterer Hauptbrunnen, das wir 3 Tage nach Entnahme hier in Gießen untersuchten, zeigte eine Aktivität $i \cdot 10^3 = 13{,}7$ E.S.E. Dies gibt, für die Zeit der Abfüllung gerechnet, eine Aktivität $i \cdot 10^3 = 23{,}3$ E.S.E., also ein Resultat, das eine überraschende Übereinstimmung mit Untersuchung 18 zeigt.

Sand- oder Lehmschichten des Usatales aufgenommen werden.

Die Quellen der Tab. 8 sind so geordnet, wie sie talaufwärts aufeinander folgen. Sie sind sämtlich stark aktiv; untereinander zeigen sie in Emanationsgehalt und Temperatur merkliche Verschiedenheiten. Doch ist ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Faktoren nicht zu ersehen. In der Emanation sämtlicher Quellen herrscht der Radiumcharakter vor; Quelle Nr. 8 ist dem bereits besprochenen Homburger Elisabethbrunnen sehr ähnlich (siehe Fig. 3). Der Beobachtungssatz von Quelle 10 zeigt anfängliche Unregelmäßigkeiten, die zunächst die Art der Emanation nicht erkennen lassen. Der spätere Verlauf zeigt klar den Radiumcharakter.

Tabelle 9.
Aktivität von Quellsedimenten.

| 1. Hinweis auf frühere Tabellen | 2. Ort und Name der Quelle | 3. Entnahmestelle | 4. Zerstreuung pro Gramm in Millivolt pro Sekunde | 5. Aktivität des Quellwassers in absolutem Maß |
|---|---|---|---|---|
| Tab. 2, No. 2. | 1. Quelle im Balkhäuser Tal. | Schlamm vom Grunde d. Quelle. | 17,3 | 5,7 |
| Tab. 2, No. 3. | 2. Dasselbe. | Dasselbe. | 17,3 | 7,7 |
| Tab. 6, No. 8. | 3. Römerbrunnen bei Echzell. | Der Quellfassung entnommen. | nicht nachweisbar | nicht nachweisbar |
| Tab. 6, No. 14. | 4. Selzerbrunnen zu Großkarben. | An der Quellfassung abgeschabt. | — | 3,1 |
| Tab. 6, No. 15. | 5. Hassiasprudel in Vilbel. | Dem Hauptrohr entnommen. | 5,2 | 1,2 |
| Tab. 6. No. 17. | 6. Viktoria-Melitta-Spradel in Vilbel. | Der Überlaufstelle direkt am Hauptrohr entnommen. | 1,4 | 0,9 |
| Tab. 7, No. 11. | 7. Rosbacher Brunnen der englischen Gesellschaft. | Aus dem Ablaufrohr. | 6,2 | 9,9 |
| Tab. 7, No. 12. | 8. 2. Rosbacher Brunnen der Gemeinde Ober-Rosbach. | Dasselbe. | 1,2 | 14,2 |
| Tab. 7, No. 18. | 9. Kaiserbrunnen zu Homburg v. d. H. | Direkt aus der Quelle. | 12,8 | 2,8 (*Th!*) |
| Tab. 7, No. 18. | 10. Kaiserbrunnen zu Homburg v. d. H. | Aus dem Ablaufrohr 50 m vom Ursprung. | 14,8 | 2,8 (*Th!*) |
| Tab. 7, No. 14. | 11. Elisabethbrunnen zu Homburg v. d. H. | Direkt aus der Quelle. | 3,0 | 8,0 (*Th!*) |
| Tab. 7, No. 19. | 12. Schwefelbrunnen zu Bad Soden i. T. | Dem Hauptrohr direkt an der Quelle entnommen. | 13,0 | 16,4 |
| Tab. 7, No. 20. | 13. Wilhelmsbrunnen zu Bad Soden i. T. | Dasselbe. | 11,6 | 18,2 |
| Tab. 8, No. 8. | 14. Quelle Theodorshalle, Gradierhaus No. 1 in Kreuznach. | Direkt dem Pumpenrohr entnommen. | 27,5 | 6,6 (*Th!*) |
| Tab. 8, No. 10 | 15. Quelle aus Gradierhaus No 2 in Kreuznach. | Dasselbe. | 28,5 | 9,2 |
| Tab. 8, No. 12. | 16 Quelle am Haus No. 5 in Kreuznach. | Sinter, dem Kasten am Gradierhaus No. 7, 300 m vom Ursprung der Quelle entnommen. | 8,9 | 17,0 |
| Tab. 8, No. 18. | 17. Münsterer Hauptbrunnen zu Bad Münster a. St. | Der Brunnenfassung unmittelbar an der Quelle abgeschabt. | 4,5 | 23,4 |
| " " | 18. Derselbe. | Sinter von 17. geschlämmt, obere Kruste. | 3,6 | |
| " " | 19. Derselbe. | Bodensatz vom Schlämmen 18. | 4,8 | |
| " " | 20. Derselbe. | Dornasche vom Münsterer Gradierbau. | 7,8 | |

Bei den Beobachtungen 12—15 ist deutlich zu erkennen, daß die Aktivität an verschiedenen Tagen schwankt, und daß man bei günstigeren Entnahmebedingungen höhere Aktivitätszahlen erhält.

---

Im Anschluß an diese Versuche außerhalb des Laboratoriums sind noch einige Versuche über die Restaktivität von Wasser und über die Stärke und Art der Aktivität von Quellschlamm hier im Gießener Institut gemacht worden.

Eine nicht unbedeutende Restaktivität haben wir in Kreuznacher Wasser der Quelle am Gradierhaus Nr. 5 (vgl. Tab. 8, 12—15) feststellen können. Die erste der untersuchten Flaschen, die alle zu gleicher Zeit abgefüllt waren, wurde hier in Gießen kurz nach ihrer Ankunft geöffnet, mit Luft geschüttelt und wieder geschlossen. Obwohl das Wasser nach mehrmaligem Schütteln keine nachweisbare Aktivität mehr gezeigt hatte, konnten wir nach zwei Monaten eine Aktivität feststellen, die einem Strom von $1{,}12 \cdot 10^{-3}$ E.S.E. entsprach. Eine zweite Flasche, die geschlossen stehen geblieben war, hatte fast dieselbe Aktivität ($i = 1{,}18 \cdot 10^{-3}$). Um uns davon zu überzeugen, ob das radioaktive Produkt direkt im Wasser gelöst oder vielleicht nur in dem bräunlichen Bodensatz enthalten war, filtrierten wir, füllten das filtrierte Wasser in eine ungebrauchte Flasche, gossen in die alte Flasche destilliertes Wasser und warfen in dieses das gebrauchte Filtrierpapier samt dem Rückstand. Beide Flaschen wurden gut verschlossen und ca. zwei Monate später untersucht: Das filtrierte Wasser war gerade so aktiv, als ob es unberührt gestanden hätte ($i = 1{,}24 \cdot 10^{-3}$), während das

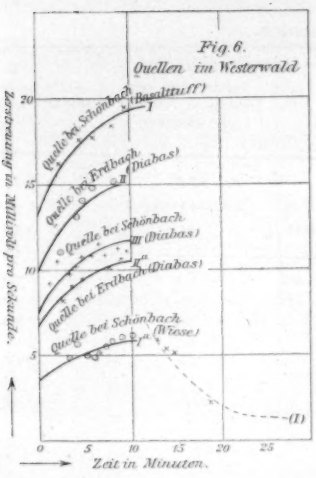



Fig. 6.

destillierte Wasser nur eine äußerst schwache Aktivität angenommen hatte ($i = 0{,}12.10^{-3}$). Wenn wir diese Zahlen mit den in Tabelle 8 gegebenen vergleichen, so kommen wir für das Kreuznacher Wasser der Quelle am Haus 5 zu dem Schluß, daß ca. der 20. Teil der überhaupt vorhandenen Emanation von den im Wasser selbst gelösten radioaktiven Produkten herrührt.

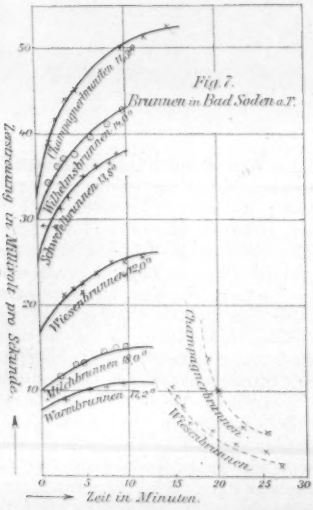



Fig. 7.

Der Quellschlamm bezw. Quellsinter wurde getrocknet und gepulvert, jedoch keinem Schlemm- oder Reinigungsverfahren unterworfen. Er wurde in dünner Schicht in ein kleines Blech-

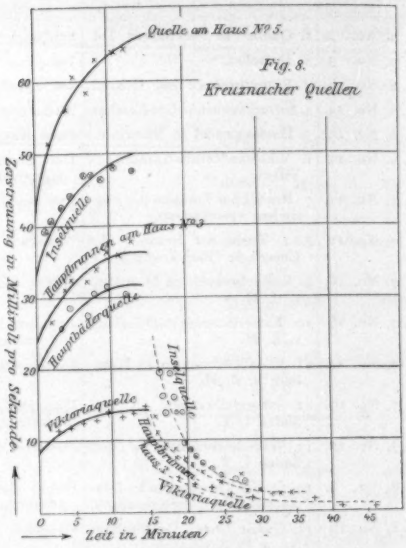



Fig. 8.

schälchen gestreut, das auf den Boden des Zerstreuungsgefäßes paßte.[1]) Da jedesmal ca. $^1/_2$ g Material benutzt wurde und die Bodenfläche des Schälchens 30 cm² hatte, kamen pro cm² ca.

1) Vgl. H. W. Schmidt, l. c. Fig. 1. An Stelle des dort abgebildeten Zerstreuungskörpers *b* war ein dünner Messingstab gesetzt, den wir auch bei Emanationsbestimmungen in Zukunft benutzen wollen.

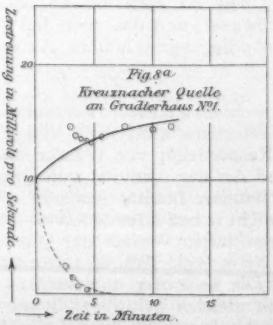



Fig. 8a.

$^1/_{60}$ g. In der Tabelle 9 haben wir die Zerstreuung in Millivolt pro Sekunde gegeben, berechnet auf 1 g Substanz. Da die Kapazität des Elektrometers samt Blechschale 4,9 cm beträgt, ist ein Vergleich mit anderen Angaben jederzeit möglich. Natürlich muß man immer berücksichtigen, daß Aktivitätsmessungen an festem Material nur ungefähre Werte geben.

Aus Vergleich der beiden letzten Zeilen der Tab. 9 erkennen wir, daß man von der Aktivität des Wassers einer Quelle keinen Schluß auf die Aktivität des abgesetzten Sinters ziehen kann. Benachbarte, ziemlich stark aktive Quellen (Kreuznach, Rosbach) fördern feste aktive Produkte von ganz verschiedener Stärke zutage.

Versuche über induzierte Aktivität hatten wir ursprünglich nur mit Sinter aus der Homburger Kaiserquelle anstellen wollen. Wir wollten uns nämlich überzeugen, daß wir tatsächlich Thoremanation beobachtet hatten. Es standen uns die beiden in Tabelle 9 erwähnten Proben zur Verfügung, von Probe 1 nur 1,6 g, von Probe 2 10 g. Probe 1 ließen wir in einer kleinen Blechschachtel und untersuchten nach ca. 40 Stunden den Deckel. Er war nur schwach aktiv geworden, zeigte aber deutlich den Charakter der Thorinduktion. Probe 2 befand sich in einer Glasflasche von 200 cm Inhalt. Wir befestigten ein Stück *Al*-Folie am Deckel und ließen es ohne angelegte Spannung ca. 40 Stunden in der verschlossenen Flasche. Dann wurde die Folie ins Elektroskop gebracht und auf ihre Aktivität untersucht. Das Abklingen der Aktivität ist aus Kurve I in Fig. 9 ersichtlich. Nach einem anfänglichen steilen Abfall, der wohl von etwas vorhandener Radiuminduktion herrührt, schließt sich die Abklingungskurve völlig der theoretischen Thorkurve an.

Wir haben dann weiter noch die Deckel der Blechgefäße untersucht, in denen je 60 g der in Tabelle 9 erwähnten Kreuznacher Sinter ca. $^1/_4$ Jahr lang aufbewahrt waren. Während der Deckel des einen Gefäßes mit Sinter der Quelle

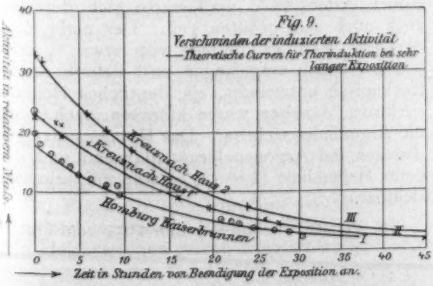



Fig. 9.

am Haus 5 (Sinter vom Gradierbau 7, 300 m von dem Ursprung der Quelle entnommen!) nicht meßbar aktiv geworden war, zeigten die beiden anderen Dekel (Sinter direkt am Brunnenrohr entnommen!) ausgesprochenen Thorcharakter. Interessant ist, daß ein anfänglicher steiler Abfall, der für Radiuminduktion sprechen würde, hier nicht zu beobachten war.

---

Wir fassen die Resultate unserer Untersuchungen folgendermaßen zusammen:

1. Fast alles aus dem Boden dringende Quellwasser führt radioaktive Emanation mit sich. In den weitaus meisten Fällen bestimmt sich diese Emanation als Radiumemanation. In einigen wenigen Fällen konnte die Anwesenheit von Thoremanation festgestellt werden.

2. Eine Abhängigkeit des Emanationsgehaltes von der Tiefe, aus der die Quellen kommen, ihrer Stärke, chemischen Beschaffenheit und ihrer Temperatur ist nicht ersichtlich.

3. Dagegen besteht eine deutliche Abhängigkeit von den geologischen Verhältnissen: Quellen aus Eruptivgesteinen sind im allgemeinen viel stärker aktiv als Quellen aus Sedimentärgesteinen. Am wenigsten aktiv zeigten sich Quellen aus Kalken und Sanden.

4. Von den über 100 untersuchten Quellen sind am stärksten aktiv einige Heilquellen (Kur- und Karlsbrunnen zu Bad Nauheim, Münster a. Stein, Kreuznach, Bad Soden i. T.). Dagegen sind durchaus nicht alle Heilquellen aktiv; manche sogar (die Sprudel zu Bad Nauheim und Vilbel, Bad Salzhausen, Bad Weilbach a. T.) haben eine auffallend geringe Aktivität.

5. Im Wasser einer Kreuznacher Quelle ließ sich eine nicht unerhebliche Restaktivität feststellen, die auf ein im Wasser gelöstes Radiumsalz schließen läßt.

6. Die meisten radioaktiven Quellen befördern feste radioaktive Substanzen an die Erdoberfläche, wie aus der Untersuchung einer Anzahl Schlammproben hervorgeht. Einige Sinter zeigen ausgesprochene Thoraktivität.

Diese Resultate bestätigen durchweg die von anderer Seite auf diesem Gebiete gemachten Beobachtungen.

---

Wir haben bei unseren Untersuchungen die liebenswürdigste Unterstützung der Bade- und Brunnenverwaltungen sowie von vielen anderen Seiten gefunden.[1]) Wir möchten nicht ver-

1) Nur die Kgl. Preußische Regierung zu Wiesbaden gestattete uns nicht die Untersuchung der im Taunus gelegenen fiskalischen Quellen.

fehlen, allen denen, welche diese Untersuchungen förderten, auch an dieser Stelle unseren verbindlichsten Dank auszusprechen.

Gießen, 7. Februar 1906. Physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 19. Februar 1906.)

## Über das Vorkommen von Argon und Helium in den Gasteiner Thermalquellen.

Von P. Ewers.

Die von den Thermalquellen aufsteigenden Gase sind verschiedentlich sowohl auf ihre Radioaktivität, als auch auf ihre chemische Zusammensetzung hin untersucht worden, und die gewonnenen Resultate stimmen für fast alle Quellen darin überein, daß die Aktivität auf einem gewissen Gehalt an Radiumemanation beruht; die chemische Zusammensetzung der Quellgase variiert dagegen stark von Ort zu Ort. Trotzdem ist eine gewisse Übereinstimmung in der Hinsicht nicht zu leugnen, daß die sehr aktiven Gase auch eine verhältnismäßig große Menge Helium, oder wohl präziser ausgedrückt, an Edelgasen enthalten. So hat Moureu[1]) eine große Anzahl von Thermalquellen quantitativ untersucht und überall sowohl Helium, wie auch vor allem Argon nachweisen können, wenn er auch die Trennung der Edelgase voneinander nicht weiter ausgeführt hat. Die neuesten Untersuchungen der radioaktiven Prozesse haben es nun wahrscheinlich gemacht, daß die strahlenlosen Umwandlungsstufen des Radiums, Radium *B* und Radium *D*, entweder $\alpha$-Strahlen von einer so geringen Geschwindigkeit[2]) aussenden, daß dieselben durch ihr Ionisierungs- oder Lumineszenzerregungsvermögen nicht mehr nachgewiesen werden können, oder daß die Umwandlung auf der Aussendung von Teilchen[3]) beruht, die entweder selbst Argonatome oder Bausteine des Argons sind, und die ebenfalls infolge ihrer geringen Geschwindigkeit nicht zur Ionisieren vermögen. Es wird also das Auftreten des Argons in den Thermalquellen nicht nur ein zufälliges sein, sondern ebenso wie das Helium dem Radium seine Entstehung verdanken. Weiter ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß bei gewissen Quellgasen das Argon die Hauptmasse des vorhandenen Edelgases ausmacht und das Helium wesentlich zurücktritt. Dieses Verhalten hat sich tatsächlich bei den aus den Gasteiner Thermen aufsteigenden Gasen, die nach Moureu[1]) 1,35 Proz. Edelgase enthalten, ergeben, wobei aber unentschieden blieb, welches der Edelgase in überwiegendem Maße vorhanden war.

Daß das Argon einfach aus der Luft stammt und nur von den Thermalwässern gelöst und an die aufsteigenden Gasblasen abgegeben wurde, ist aus verschiedenen Gründen unwahrscheinlich.

Herr cand. chem. L. Straubinger aus Gastein hatte für uns unter den nötigen Vorsichtsmaßregeln in mehreren Einzelproben im ganzen 1650 ccm der Quellgase, welche in der Grabenbäcker Quelle aufsteigen, gesammelt. Dieselben steigen daselbst so spärlich auf, daß zum Ansammeln von 1 Liter etwa 1 Woche nötig ist. Die Gase wurden in einem Verbrennungsrohre über glühendes metallisches Calcium geleitet und auf diese Weise zum größten Teile des Stickstoffs beraubt. Darauf kamen sie direkt in eine Funkflasche und wurden mit Sauerstoff über Kalilauge so lange gefunkt, bis keine Abnahme des Gasvolumens binnen 24 Stunden mehr konstatiert werden konnte. Der überschüssige Sauerstoff wurde dann mittels Phosphor entfernt. Um die so erhaltenen Edelgase zu trennen, wurden dieselben nach dem von Ramsay und Travers[2]) angegebenen Verfahren mittels flüssiger Luft kondensiert und der fraktionierten Destillation unterworfen. Eine derartige Trennung durch fraktionierte Destillation ist nötig, um zu entscheiden, mit welchen Edelgasen man es hauptsächlich zu tun hat; denn da die Heliumlinien, namentlich die gelbe, selbst bei sehr geringem Heliumgehalte noch stark in den Spektren der Gemische zu überwiegen pflegen, kann man sich leicht Täuschungen über den letzteren hingeben. Es zeigte sich, daß bei $-190^0$ und Atmosphärendruck der weitaus größte Teil des Gases kondensierte, und nur ein kleiner Rest gasförmig blieb. Bei Anwendung eines Überdruckes von etwa einer halben Atmosphäre verflüssigte sich derselbe auch noch zum größten Teil. Der nicht kondensierte Rest im Betrage von etwa $^1/_2$ ccm wurde für sich aufgefangen und lieferte, spektroskopisch untersucht, ein deutliches Heliumspektrum, daneben waren indessen auch noch die Argonlinien sichtbar. Das Kondensat zeigte dagegen das Argonspektrum glänzend und die gelbe Heliumlinie ($\lambda = 587{,}6$) war nur schwach sichtbar.

Im ganzen wurden von den 1650 ccm Quell-

1) Ch. Moureu, C. R. **139**, 852, 1904.
2) E. Rutherford, Phil. Mag. (6), **10**, 163, 1905.
3) B. B. Boltwood, Sill. Journ. (4) **20**, 253, 1905.

1) Ch. Moureu, l. c.
2) W. Ramsay und M. W. Travers, Phil. Trans. A. **197**, 47, 1901.

gas 22 $cm^3$ = 1,33 Proz. Edelgas, wie bei Moureu, erhalten, die somit wenigstens 97 Prozent aus Argon bestehen und nur höchstens 3 Prozent Helium enthalten.

München, Physikal. Institut der Kgl. Technischen Hochschule. Januar 1906.

(Eingegangen 18. Januar 1906.)

## Über die durch Radiotellur hervorgerufene Fluoreszenz von Glas, Glimmer und Quarz.

Von H. Greinacher.

Bringt man ein Glasröhrchen, das ein Radiumpräparat enthält, in verdunkelten Raum, so läßt sich leicht nicht nur die Fluoreszenz des Präparats, sondern auch die des Glases beobachten. Seit man diese Tatsache kennt, und seit man die weitgehende Verwandtschaft der Kathoden- und Röntgenstrahlen mit den $\beta$- und $\gamma$-Strahlen erkannt hat, lag die Erklärung nahe, daß man diese Fluoreszenzerscheinung der Hauptsache nach jedenfalls den $\beta$- und $\gamma$-Strahlen des Radiums zuzuschreiben hatte. Daß aber auch die $\alpha$-Strahlen nicht unbeträchtliche Glasfluoreszenz hervorrufen können, habe ich bei Gelegenheit einiger Versuche, die ich mit Radiotellur ausführte, feststellen können.

Die Erscheinung habe ich zuerst an einer Spektralröhre beobachtet, in welcher sich eine mit Radiotellur belegte Kupferplatte befand. Nachdem die elektrischen Entladungen einige Zeit durch die Röhre hindurchgegangen waren, wurde zunächst bemerkt, daß das Glas namentlich an den am stärksten beanspruchten Stellen nachleuchtete. Es zeigte sich aber, daß die Glaswand, die sich dem Radiotellur gegenüber befand, dauernd weiter leuchtete, und daß dieses Leuchten stärker war, wenn das Radiotellur dem Glase genähert wurde. Besonders deutlich war die Erscheinung von der Seite zu sehen. In gleicher Weise ließ sich die Fluoreszenz der Glaswand an einer Spektralröhre, durch die überhaupt noch keine Entladungen gegangen waren, beobachten.

In der Folge habe ich nun einige Photographien (Fig. 1—5) hergestellt, welche erkennen lassen, daß außer Glas auch Glimmer und Quarz durch Radiotellur zur Fluoreszenz erregt werden. Die Aufnahmen sind mit $\Sigma$-Platten der Firma Lumière gemacht, und wurde als Entwickler Hydrochinon verwendet.

1. Fig. 1 gibt eine Aufnahme der verwendeten Radiotellurpräparate wieder. Diese wurden auf ein Holzbrettchen gelegt, worauf man rasch eine photographische Platte darauf legte. Die Expositionsdauer war 1 Minute. Die Photographie läßt eine kräftige Schwärzung mit scharfen Umrissen erkennen. Da das schmale Streifchen von der großen Platte abgeschnitten ist, so zeigt es gleichstarke Einwirkung wie der gegenüberliegende Teil des großen Präparates. Der davon abgewendete Rand ist besonders scharf und kräftig. Man hat sich dort den unbelegten Teil der Kupferplatte fortgesetzt zu denken. Er entspricht der Grenze, bis zu welcher die Platte in die Radiotellurlösung zur Belegung eingetaucht worden war. Es scheint sich dort die Abscheidung des Radiotellurs besonders intensiv vollzogen zu haben. Das große Präparat zeigte im übrigen ungefähr die doppelte Aktivität wie eine frisch von Dr. R. Sthamer bezogene mit Radiotellur belegte Platte.

Fig. 1.

2. Eine photographische Platte von 1,3 mm Dicke wurde mit der Glasseite nach unten auf die Präparate gelegt. (Das kleine Präparat befand sich auf der Längsseite des großen.) Nachdem 3 Stunden exponiert worden war,

Fig. 2. Glas.

Fig. 3. Glas.

zeigte sich eine kräftige Schwärzung mit etwas verschwommenen Umrissen (Fig. 2). Wie ein anderer Versuch lehrte, genügten auch schon 40 Minuten, um deutliche Schwärzung zu bekommen.

3. Anstatt die photographische Platte mit der Glasseite nach unten zu legen, wurde zwischen die Präparate und die empfindliche Schicht eine Glasplatte von 1,2 mm Dicke zwischengelegt. Fig. 3 zeigt, daß nach ebenfalls 3 stündiger Expositionszeit die Schwärzung deutlich, aber weniger kräftig war, wie bei Versuch 2. Doch erscheinen die Umrisse etwas bestimmter. Das kleine Präparat ist nur andeutungsweise zu erkennen.

Der Versuch wurde auch in der Weise variiert, daß die Glasplatte durch eine Luftschicht von $2\,^1/_4$ mm Dicke von der Radiotellurbelegung getrennt wurde. Die Schwärzung der photographischen Platte war aber auch dann noch deutlich, wenn auch schwächer und verschwommener wie ohne Einschaltung der Luftschicht. Die Fluoreszenz der letzteren [1]) konnte also die durch den Abstand verminderte Fluoreszenz des Glases nicht wettmachen.

Fig. 4 zeigt eine Photographie des Radiotellurpräparats durch ein sog. Viertelwellenglimmerplättchen von 0,8 mm Dicke hindurch. Da die Größe des Plättchens, das in einem Karton mit viereckigem Ausschnitt montiert war, $3{,}6 \times 3{,}6$ cm$^2$ betrug, so konnte nur ein Teil des Präparats aufgenommen werden. Der Karton mit dem Glimmer wurde so auf die Radiotellurplatte gelegt, daß der stark aktive Rand der letzteren durch die Mitte lief. Zu bemerken ist noch, daß sowohl die Radiotellurbelegung als die empfindliche Schicht der Platte infolge des dickeren Kartons (1,4 mm)

1) W. Marckwald u. K. Herrmann, „Über die Fluoreszenz der Luft in den Strahlen des Radiotellurs." Verh. d. Physik. Ges. **7**, 227, 1905.

Fig. 4. Glimmer.

durch je eine dünne Luftschicht von 0,3 mm Dicke von der Glimmerschicht entfernt waren. Nach 3 stündigem Exponieren wurde Photographie Nr. 4 erhalten. Sie zeigt, daß nur der stark aktive Rand sich deutlich abgebildet hat. Es wirkte somit die Fluoreszenz des Glimmers bedeutend schwächer, wie die des Glases.

5. Zwischen Radiotellurpräparat und photographische Platte (empfindliche Schicht nach unten) wurde eine bikonvexe, gleichgekrümmte, Quarzlinse von 5,5 mm Dicke eingeschoben. Um das Radiotellur nur durch die Linse hindurch wirken zu lassen, wurde ein Teil der Belegung durch eine kreisförmige Öffnung eines Stücks Kartons von 2,4 cm Durchmesser ausgeblendet und auf diese dann die Linse gesetzt. Nach 5 stündiger Exposition erhielt man eine deutliche, wenn auch schwache Einwirkung auf die Platte (Fig. 5). Man sieht zwei Ringe. Der kleinere hat den inneren und äußeren Durchmesser von etwa 1,7 und 2,6 cm, welch letztere Zahl ziemlich dem Durchmesser der Ausblendung (2,4 cm) entspricht. Der große, schmale Ring hat ungefähr 3.5 cm im Durchmesser. Sein Auftreten war zunächst unerwartet, doch läßt sich das Zustandekommen desselben

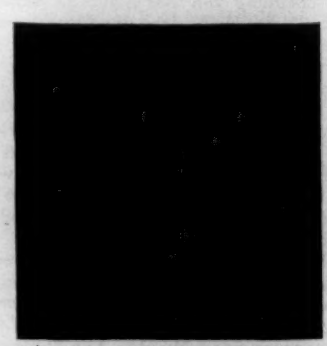


Fig. 5. Quarz.

einfach erklären. Zunächst ist zu bemerken, daß der Durchmesser der Quarzlinse ebenfalls 3,6 cm betrug. Es war nun nicht anzunehmen, daß der Linsenrand etwa von den Strahlen des Radiotellurs getroffen wurde; vielmehr rührten die aus ihm austretenden Strahlen, welche den Ring erzeugten, von der bestrahlten unteren Fläche her. Während das Fluoreszenzlicht in der Nähe des Linsenrandes infolge Totalreflexion nicht austreten konnte, war dies an dem Rande selbst sehr wohl der Fall. Auch mußten die aus dem Rande austretenden Strahlenbündel verhältnismäßig intensiv sein, da sie schief von der fluoreszierenden Fläche ausgegangen waren.

Daß die photographische Einwirkung wirklich primär vom Radiotellur herrührte, und der Quarz allein die Platte nicht beeinflußt hätte, ging aus einem weiteren Versuch hervor, wobei die Kartonöffnung so auf das Radiotellur gelegt wurde, daß dessen Begrenzung durch die Mitte ging. In diesem Falle erschien der kleine Ring nur zur Hälfte, während der große vollständig war.

Wie die angeführten Versuche zeigen mögen, kann das Radiotellur durch Glas, Glimmer und Quarz hindurch auf die photographische Platte wirken, und ist es wahrscheinlich, daß die Wirkung auch durch andere feste, durchsichtige Körper stattfindet. Falls nicht beobachtet wäre, daß das Radiotellur fluoreszenzerregend auf Glas wirkt, könnte man an das Vorhandensein einer Glas und andere Körper durchdringenden Strahlung denken. Allein schon ohne dies würde die mit der Quarzlinse beobachtete Erscheinung der Randabbildung nicht dafür sprechen. Des weiteren habe ich die durch Radiotellur hervorgerufene Fluoreszenz nicht nur an der zu den Photographien benutzten Glasplatte, sondern auch an der Glimmerplatte direkt beobachten können. Doch mußte das Auge wegen der äußerst schwachen Luminiszenz gut ausgeruht sein. Erst nach 20 Minuten konnte ich das Glimmerplättchen mit Sicherheit erkennen und nach ca. weiteren 10 Minuten erst gelang es mir, den Rand des vorbeibewegten Radiotellurpräparats über das Glimmerplättchen wandern zu sehen. Die Fluoreszenz der Glasplatte konnte ich auch nach einer halben Stunde nicht von vorn sehen, dagegen schon wenige Minuten nach Verdunkeln von der Seite. Auf diese Weise kann man also etwa schwach leuchtende Flächen sichtbar machen.[1]) Bei der Quarzlinse war aber auch bei dieser Beobachtungsweise keine Fluoreszenz zu beobachten. Doch ist es unzweifelhaft, daß die starke Randabbildung auf der photographischen Platte ebenfalls darauf beruht, daß durch den Rand seitliche und daher konzentrierte Strahlenbündel austraten. Vergleicht man die Helligkeit des Fluoreszenzlichtes von Glimmer und Glas mit der auf der Platte hervorgerufenen Schwärzung, so erkennt man, daß die Intensitäten sich in umgekehrtem Verhältnis befanden. Dies läßt vermuten, daß das Fluoreszenzlicht von Glas und Glimmer in der Weise verschieden ist, daß ersteres näher am Ultraviolett liegt.

Wie die Beobachtung zeigt, findet die Fluoreszenz hauptsächlich an der von den Radiotellurstrahlen getroffenen Fläche statt[1]), und stimmt dies damit überein, daß die Fluoreszenz eine Wirkung der leicht absorbierbaren $\alpha$-Strahlen ist. An das Vorhandensein von $\beta$-Strahlen kleiner Geschwindigkeit, wie sie J. J. Thomson[2]) für das Polonium annimmt, ist hier wohl kaum zu denken. Bisherige Untersuchungen am Radiotellur haben zu einer ähnlichen Annahme nicht geführt, in Übereinstimmung mit neueren Ergebnissen, wonach das Radiotellur als einheitlicher radioaktiver Körper anzusehen ist[3]), der, wie wohl alle von radioaktiven Umwandlungsprodukten befreiten Radioelemente, nur $\alpha$-Strahlen aussendet. Bei Verwendung von Polonium, das ein einheitlicher Körper nicht zu sein scheint, wäre aber an die Wirkung anderer Strahlen wohl zu denken. So hat H. Becquerel[4]) eine Reihe von Versuchen ausgeführt, welche die Erregung von Sekundärstrahlen durch das Polonium zeigen sollen. Im Laufe seiner Untersuchungen bemerkte er auch, daß ein Poloniumkörnchen sich durch die Glimmerplatte photographiert hatte und erklärt dies entsprechend durch die von der Glimmerplatte ausgesandte Sekundärstrahlung. Nach den mitgeteilten Beobachtungen dürfte aber auch hier wenigstens ein Teil der photographischen Wirkung auf der Fluoreszenz des Glimmers beruht haben.

Daß die fluoreszenzerregende Wirkung der $\alpha$-Strahlen eine allgemeinere ist, wie man bisher wohl angenommen hat, zeigen neuere Beobachtungen, wonach die Radiotellurstrahlen die Luft zum Fluoreszieren bringen.[5]) Auch die unter Einwirkung der Radiumstrahlen beobachtete Fluoreszenz der Luft[6]), inbesondere

1) H. Becquerel (C. R. **138**, 184, 1904) macht darauf aufmerksam, daß man auf diese Weise die schwache Fluoreszenz einiger Uransalze sehen kann.

1) Sehr schön ließ sich dies an einem Uranglaswürfel (3,2 cm³), an den das Radiotellurpräparat herangebracht wurde, nachweisen.

2) J. J. Thomson, Proc. Cambr. Phil. Soc. **13**, 49, 1904.

3) W. Marckwarld, Ber. d. d. chem. Ges. **38**, 591, 1905; Jahrbuch d. Radioakt. **2**, 133, 1905; W. Marckwald, H. Greinacher u. K. Herrmann, Jahrbuch d. Radioakt. **2**, 136, 1905; H. Greinacher, ibid. **2**, 139, 1905; St. Meyer u. E. v. Schweidler, Ber. Akad. Wissensch. Wien **114**, 391, 1905.

4) H. Becquerel, C. R. **136**, 977, 1903.

5) W. Marckwald u. K. Herrmann, l. c.; B. Walter, Ann. d. Phys. **17**, 367, 1905.

6) Williams u. Lady Huggins, Proc. Roy. Soc. **72**, 196 u. 409, 1903.

des Stickstoffs[1]), scheint man hauptsächlich auf die Wirkung der $\alpha$-Strahlen zurückführen zu müssen, da man neuerdings der Ansicht zuneigt, daß die Gase infolge der ionisierenden Wirkung der radioaktiven Stoffe[2]), wobei die $\alpha$-Strahlen die Hauptrolle spielen, leuchten.

Wie von Gasen und festen Körpern ist auch von Flüssigkeiten zu erwarten, daß sie unter Einwirkung des Radiotellurs fluoreszieren. Ich habe einen Versuch mit Wasser ausgeführt. Die Radiotellurplatte wurde mit einer Schicht von ca. 2 mm Wasser überdeckt, worauf die photographische Platte in kleinem Abstand über der Wasserfläche angebracht wurde. Nach 3 stündiger Exposition zeigte sich keine Einwirkung auf der Platte. Zu bemerken ist noch, daß sich letztere während der Expositionszeit durch Kapillarwirkung von den Stützen her benetzt hatte. Da hier nur das Ergebnis eines einmaligen Versuchs angegeben werden kann, so bedarf dasselbe noch der Bestätigung. In Übereinstimmung damit, daß die Fluoreszenz zum mindesten sehr geringfügig ist, ließ sich auch kein sichtbares Leuchten beim Eintauchen der Radiotellurplatte in Wasser oder beim Aufbringen einer dünnen Wasserschicht auf dieselbe nachweisen. Es wird daher auch die dünne Wasserhaut, mit welcher Glasflächen meist bedeckt sind, für die an diesen beobachtete Fluoreszenz ohne Belang sein.[3]) Vielmehr werden die $\alpha$-Strahlen diese äußerst dünne Oberflächenhaut leicht durchdringen, und wird erst ihre Absorption im festen Körper (Glas, Glimmer, Quarz) Veranlassung zur Fluoreszenz geben.

Zum Schluß benutze ich die Gelegenheit, Herrn Prof. Marckwald für die gütige Überlassung der Radiotellurpräparate meinen herzlichen Dank auszusprechen.

1) F. Himstedt u. G. Meyer, diese Ztschr. **6**, 688, 1905; B. Walter u. R. Pohl, Ann. d. Phys. **18**, 406, 1905.

2) J. Stark, Jahrbuch d. Radioakt. **2**, 147, 1905; R. Pohl, Ann. d. Phys. 17, 375, 1905.

3) Würden Wasserschichten von dieser geringfügigen Dicke, wie sie ja auch auf oxydabeln Metallen sich befinden (T. Ihmori, Wied. Ann. **31**, 1008, 1887; H. Greinacher, Ann. d. Phys. **16**, 708, 1905) merklich fluoreszieren, so wäre auch zu erwarten, daß das Radiotellur infolge seiner dünnen Wasserhaut leuchte. Ein Selbstleuchten des Radiotellurs konnte aber nicht bemerkt werden.

Genf, Weihnachten 1905.

(Eingegangen 27. Dezember 1905.)

## Elektrodentemperatur und Flammenleitung.

(Bemerkung zu der Arbeit des Herrn J. F. Davidson.[1])

Von Erich Marx.

Die Frage, ob durch die Temperatur der Elektroden in der Flamme neben der Volumdissoziation eine Oberflächendissoziation hervorgerufen wird, wird durch Herrn Davidson durch Anbringung von Röhren von 2 cm Durchmesser zu entscheiden gesucht. Die Röhren können von innen gekühlt werden. Herr Davidson gibt folgende Tabelle:

| Kathode | Galv. Ausschlag |
|---|---|
| im Flammensaum . . . . . | 2 cm |
| in der Flammenachse, aber noch gekühlt . . . . . | 40 cm |
| in der Flammenachse, Wasserzufluß abgestellt, so daß die Kathode glühend werden konnte . . | ca. 41 cm |
| für gewöhnlich kalt in der Achse der reinen Flamme | 1,0 cm |
| glühend, in der Achse d. „ „ | 1,9 cm. |

Aus dieser Tabelle schließt Herr Davidson, daß kein Einfluß der Temperatur der Kathode auf die Leitfähigkeit der gefärbten Flamme stattfindet. — Dieser Schluß wäre nur dann richtig, wenn Herr Davidson etwa hinzugefügt hätte, „solange die Kathode schwach glüht." Da nämlich die Leitfähigkeit der Flamme im wesentlichen durch die negativen Ionen bedingt ist, kann ein Einfluß der Elektrode auf die Leitfähigkeit erst beobachtet werden, falls von der glühenden Elektrode selbst negative Elektrizität emittiert wird. Dies findet, wie aus den bekannten Versuchen über Entladungen von glühenden Drähten bei Atmosphärendruck (etwa von Elster und Geitel) bekannt ist, erst statt, wenn die Elektrode gelb glüht. Bei schwacher Rotglut gehen positive Ionen von der Elektrode fort. Daß der Strom in der Flamme ansteigt, wenn die unverrückte Kathode bis zur Gelbglut etwa elektrisch geheizt wird, ist eine häufig beschriebene experimentelle Tatsache.

(Eingegangen 12. Februar 1906.)

1) Diese Zeitschr. **7**, 108, 1906.

## Mitteilungen aus dem physikalischen Institut der Universität Bologna. (Direktor A. Righi.)

**Nr. 12[1]): A. Righi, Über die Erhöhung der Leitfähigkeit fester Dielektrika unter der Einwirkung von Radiumstrahlen.**

Auf Seite 107 des laufenden Jahrganges dieser Zeitschrift veröffentlicht Herr Becker eine Notiz zur Verteidigung der Gültigkeit seiner Versuche, welche auf den Beweis einer Zunahme der Leitfähigkeit des Paraffins und anderer fester Isolatoren unter dem Einfluß der $\beta$-Strahlen abzielen. In dieser Notiz spricht der genannte Physiker die Vermutung aus, daß seine Versuche mir zur Zeit der Veröffentlichung meiner Arbeit über den gleichen Gegenstand unbekannt gewesen seien.

Ich muß erklären, daß die Sache sich tat-

1) Nr. 11 diese Zeitschr. **7**, 168, 1906.

sächlich so verhält, daß ich durch Zufall von der Arbeit des Herrn Becker erst vor einigen Tagen Kenntnis erhielt, als er die Liebenswürdigkeit hatte, mir einen Abdruck derselben zu übersenden.

Andererseits möchte ich erwähnen, daß ich keineswegs das Vorhandensein der strittigen Erscheinung verneinen wollte, daß ich mich vielmehr auf den Schluß beschränkt habe, daß neue und genauere Untersuchungen erforderlich seien, bevor die Erscheinung als erwiesen betrachtet werden könne. Die Versuche des Herrn Becker liefern nun einen beachtenswerten Beitrag nach dieser Richtung hin.

Bologna, im Februar 1906.

(Aus dem Italienischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 20. Februar 1906.)

## Zur Geschichte, Konstruktion und Wirkungsweise des Kapillartelephons.

Von H. Boruttau.

In der Sitzung vom 18. März 1878 legte Berthelot der Pariser Académie des Sciences eine Mitteilung Bréguets vor[1]), betreffend ein neues, als Quecksilbertelephon zu bezeichnendes Fernsprechinstrument. Dasselbe beruht auf den bekannten Beobachtungen Lippmanns über die Veränderung der Kapillarkonstante zwischen Quecksilber und Elektrolyt bei Veränderung des elektrischen Potentials, insbesondere die Umkehrbarkeit dieses Vorgangs, insofern Veränderung der Berührungsfläche eine elektrische Potentialänderung hervorruft; bereits in Kirchhoffs Heidelberger Laboratorium hatte Lippmann[2]) die erstgenannte Tatsache zur Konstruktion des allbekannten Kapillar-Elektrometers, sowie einer elektrokapillaren Kraftmaschine verwertet. Aus der Umkehrbarkeit folgte die weitere Tatsache, daß mechanische Bewegung des Quecksilbers in der Kapillare des einen von zwei zum Kreise geschlossenen Kapillarelektrometern eine genau gleiche, entgegengesetzt gerichtete Bewegung des Quecksilbers in der Kapillare des andern erzeugt: Bréguet kam auf den Gedanken, diese Kombination zur Fernübertragung von Signalen — Telegraphie, insbesondere von Schallschwingungen — Telephonie — zu verwenden und bildet dieselbe (a. a. O.) in nebenstehend (Fig. 1) reproduzierter Weise ab; spricht man gegen die Platte $B^1$, so werden durch Vermittelung des Luftraumes $S^1$ die Schwingungen auf die Quecksilbermasse $M^1$ im Kapillarrohr $T^1$ übertragen; dieses taucht in das angesäuerte Wasser

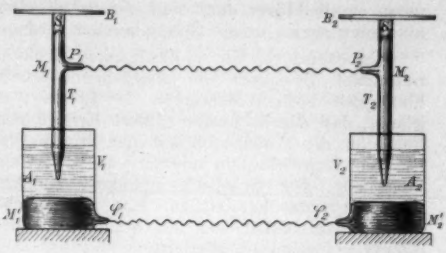



Fig. 1.

$A^1$ des Gefäßes $V^1$, das am Boden das Quecksilber $M^1$, enthält. $M^1$ und $M^1$, sind durch die Drahtleitungen $P P^2$ und $Q^1 Q^2$ mit den Quecksilbermassen $M^2$ und $M^2$, eines genau gleichen Apparats verbunden; es muß dann jede Bewegung von $M^1$ einen Strom erzeugen, welcher eine genau gleiche Bewegung von $M^2$ hervorruft, die sich durch die Luftschicht $S^2$ auf die Membran $B^2$ überträgt, so daß diese die $B^1$ mitgeteilten Schallschwingungen getreulich wiedergibt. Ob wirklich eine hörbare Übertragung vermittels dieser schematischen Anordnung erreichbar ist, erscheint zweifelhaft, auch dann, wenn man die Röhren sehr dünn und die Quecksilbermassen klein nimmt. Bréguet bemerkt in dieser Hinsicht, daß man, statt die Formänderungen des Quecksilbers „zu benutzen, auch diejenigen des dasselbe umgebenden Glases verwenden könne, welches geringere Masse besitze". Das Verhältnis der beiden Massen müsse jedenfalls so ungleich wie möglich sein, damit man die eine als unbeweglich ansehen könne, die andere dementsprechend sich dann so ausgiebig wie möglich bewegen resp. ihre Gestalt ändern werde; wolle man den Schall durch Vermittlung der Glashülle wahrnehmen, so müsse man diese so dünn wie möglich machen, wolle man die Schallwellen durch Vermittlung des Quecksilbers aufs Ohr übertragen, die Menge des letzteren möglichst klein wählen.

Eine tragbare und besonders einfache Form des Apparats, welche er zusammen mit Lippmann ausgeführt habe, beschreibt Bréguet weiterhin als ein dünnes Glasrohr von einigen Centimetern Länge, welches abwechselnd Tropfen von Quecksilber und von ungesäuertem Wasser enthält, so daß „ebensoviele elektrokapillare Elemente auf Spannung geschaltet" seien. Die beiden zugeschmolzenen Enden lassen je einen eingeschmolzenen Platindraht auf jeder Seite außen herausragen und innen mit dem nächstliegenden Quecksilbertropfen in Kontakt treten. Die Röhre ist senkrecht auf der Mitte eines dünnen Tannenbrettchens befestigt, welches Anlegen des Apparates an das Ohr gestattet,

1) Comptes rendus **86**, 711, 1878.
2) Poggendorffs Ann. d. Physik **149**, 546, 1873.

wenn er als Hörer dient und die Schallwellen aufnimmt, wenn er als Geber benutzt wird.

Als besonderen Vorteil des Kapillartelephons betrachtet Bréguet die weitgehende Unabhängigkeit vom Widerstande der Leitung; er glaubt, daß diese letztere spätere Erfolge verheiße für die Ausdehnbarkeit des Prinzips auf die treue Reproduktion jederart von Bewegung, nicht nur der Schallschwingungen, sondern auch telegraphischer Zeichen. Man würde solche schneller als bisher und auf dünneren, daher billigeren Leitungen übermitteln können.

In der Tat liegt der Gedanke der Verwendung des Kapillarelektrometers als Empfänger für Schnelltelegraphie (etwa vermittels des Wheatstoneschen Systems) z. B. auf langen Seekabellinien nahe genug, zumal nachdem die Arbeiten der Physiologen (Burch und Gotch, Einthoven, Hermann, Garten) die außerordentliche Empfindlichkeit und schnelle Reaktion nachgewiesen haben; auch ging neuerdings durch technische Blätter die Nachricht seiner probeweisen Anwendung (natürlich mit photographischer Registrierung) in England an Stelle des Thomsonschen Heberschreibers oder Lauritzenschen Undulators. Ganz neuestens dürfte es freilich in dieser Verwendbarkeit durch Einthovens Seitengalvanometer [1]) erreicht oder übertroffen sein.

Anscheinend völlig unbekannt geblieben, wohl wegen des Ortes und der Sprache der Veröffentlichung, ist eine genauere Beschreibung einer Konstruktion des „Quecksilbertelephons", welche der unlängst verstorbene, verdiente schwedische Physiologe Chr. Lovén im Jahre 1879, also ein Jahr nach Bréguets Mitteilung gegeben hat.[2]) Er war einer der ersten, welche das Kapillarelektrometer für die Untersuchung der elektrischen Erscheinungen an Muskeln und Nerven, und zwar mit ausgezeichnetem Erfolge angewendet haben; er hat das Instrument speziell für diese Zwecke in sehr glücklicher Weise modifiziert, sich mit dessen physikalischen Eigenschaften eingehend beschäftigt und ist, obgleich er die Mitteilung Bréguets zitiert, anscheinend selbständig gleichfalls zur Verwendung der beiden zum Kreise geschalteten Apparate zum Telephonieren gelangt. Bei der Beschreibung geht er aus von einer Vorrichtung, welche er als „Versuchsrohr" bezeichnet, und welche aus einem dünnen, in der Mitte verengten Glasröhrchen besteht, das ganz mit Quecksilber gefüllt ist, welches nur durch einen in der Verengerung befindlichen Tropfen verdünnter Schwefelsäure in zwei Massen abgeteilt ist.[1]) An jedem Ende ist ein Platindraht eingeführt und das Ganze durch Zuschmelzen oder besser Zukitten mit Siegellack verschlossen. Auch wenn dabei, wie ausdrücklich verlangt wird, das Zurückbleiben jeder Spur von Luft völlig ausgeschlossen wird, erzeugt auch die allergeringste Bewegung dieses Röhrchens, insbesondere wenn es horizontal gehalten wird (Drehungen!) in einem damit verbundenen gewöhnlichen Kapillarelektrometer bedeutende Ausschläge. Lovén betont, daß die treibende Potentialdifferenz in dem „Versuchsrohr" nicht durch Deplacierung der Quecksilbermassen als Ganzes, sondern nur durch die Formveränderung der Menisken unter der Wirkung der Schwere resp. durch die damit verbundene Oberflächenänderung hervorgebracht sein kann.

Ein Röhrchen, wie das beschriebene, jedoch „sehr dünn, aus sehr dünnem Glase und höchstens zwei Zentimeter lang", bildet auch den Hauptbestandteil der von Lovén genauer beschriebenen und abgebildeten Konstruktion des Kapillartelephons. Die Abbildung wird hierunter in Figur 2 genau wiedergegeben. Das

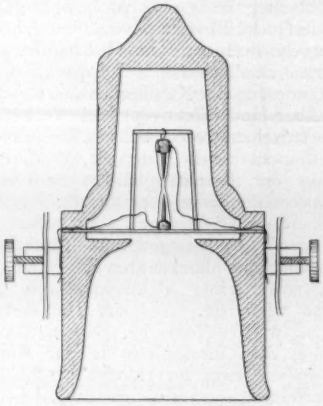


Fig. 2.

Röhrchen ist lotrecht auf der Mitte einer papierdünnen Membran von trockenem Tannenholz festgekittet, welche zwischen einem aus Holz gedrehten Schalltrichter und einer Schutzhaube aus gleichem Material festgeschraubt ist. Ferner

1) Ann. d. Physik 12, 1059, 1903 u. 14, 182, 1904.

2) Nordiskt Medicinskt Arkiv II, 14, 1879. Anmerkung bei der Korrektur: Die Mitteilung ist soeben auch in deutscher Übersetzung erschienen in den „Anat. u. physiolog. Arbeiten von Chr. Lovén, im Auftrage der Familie herausgegeben von R. Tigerstedt; Leipzig, Veit & Co. 1906.

1) Diese Anordnung (jedoch natürlich nicht luftdicht abgeschlossen wie hier) ist zuerst bereits im Jahre 1874 von Werner Siemens als „Kapillar-Galvanoskop" verwendet worden. Monatsberichte der Berl. Akademie, Februar 1874 und Poggendorffs Annalen der Physik 151, 639, 1874. Ihre Umkehrung ist die Ostwaldsche Form des Kapillarelektrometers mit dem Quecksilbertropfen inmitten einer horizontalen säuregefüllten Kapillare.

ist auf der Membran befestigt ein sehr leichter und dünner hölzerner „Galgen", an dessen Querholz das freie Ende des Röhrchens vermittels Seidenfadens befestigt ist, unter Herstellung „so starker Spannung, wie sie die Zartheit und Zerbrechlichkeit der ganzen Anordnung gestattet". Die wie oben eingekitteten Platindrähte verbinden die beiden durch den mittleren Schwefelsäuretropfen getrennten Quecksilbermassen des Röhrchens mit außen an der Vorrichtung angebrachten Klemmschrauben.

Zwei genau gleiche derartige Vorrichtungen miteinander verbunden sollen als Geber und Hörer gleich gut funktioniert haben wie gewöhnliche Bell-Telephone; es soll die Verständigung auch noch bis zur Einschaltung von 100000 S. E. Leitungswiderstand nicht merklich beeinträchtigt gewesen sein. Die sonstigen Angaben Lovéns über die Empfindlichkeit des Instruments für schwache Induktionsströme und die damit angestellten elektrophysiologischen Versuche sind an dieser Stelle nicht von Belang.

Die Verbesserungen am elektromagnetischen Telephon, insbesondere aber die Erfindung und Vervollkommnung der mikrophonischen Geber scheinen die Ursache gewesen zu sein, daß praktische Versuche mit dem Kapillartelephon auch seitens der erwähnten Urheber desselben nicht erfolgt sind. Es hat vielmehr nur aus theoretischen Rücksichten später noch einmal eine Erwähnung nebst kurzer Beschreibung und Abbildung der ersten Form Bréguets seitens d'Arsonval gefunden, als dieser glaubte, die elektrische Tätigkeitsäußerung (den „Aktionsstrom") des Muskels als Folge der durch die Zusammenziehung veränderten Oberflächenspannungsverhältnisse zwischen seinen Elementen erklären zu können.[1]) Auf die Hinfälligkeit dieser „elektrophysiologischen Theorie", welche ohne Kenntnis elementarster Tatsachen aufgestellt wurde und welche von den deutschen Physiologen alsbald erkannt, von den Engländern Burch und Hill zum Überfluß experimentell nachgewiesen worden ist, braucht an dieser Stelle nicht weiter eingegangen zu werden. Erwähnt sei aber, daß damals d'Arsonval ein sogenanntes „Modell des Muskels" konstruiert und abgebildet hat. Ein Kautschukschlauch ist durch der Quere nach fest eingebundene Scheiben aus Hollundermark oder porösem Ton in Fächer geteilt, deren jedes zuunterst eine Quecksilberschicht enthält und darüber mit angesäuertem Wasser gefüllt ist (diese Anordnung soll der Querstreifung der Muskelfaser entsprechen). Leitet man von beiden Enden ab, so erzeugt jede Dehnung des Modells im geschlossenen Kreise einen Stromstoß in dem einen, und jedes Nachlassen der Dehnung oder jede Zusammendrückung in der Längsrichtung einen solchen in dem andern Sinne. Leitet man die Wechselströme eines Telephons (oder „besser Mikrophons") zu und verbindet das eine Ende des Schlauches mit dem Mittelpunkt einer Membran, während das andere fixiert ist, so hört man das gesprochene Wort.[1]) d'Arsonval behauptet bei dieser Gelegenheit (der Satz ist durch Schrägdruck hervorgehoben), daß beim Bréguetschen Telephon „die Deformationen der Quecksilbersäulen gänzlich unsichtbar und von molekularer Größenordnung seien, ebenso wie diejenigen einer dicken Mauer, durch welche gleichwohl die Stimme fortgeleitet werde".

Ich habe zunächst die Konstruktion Lovéns genau in dem von ihm abgebildeten Maßstabe und mit Anwendung der von ihm angegebenen Materialien nachgebildet. Die Verbindung zweier gleicher derartiger Instrumente als Geber und Hörer entsprach allerdings nicht dem von ihm selbst angegebenen Erfolge; indessen ergab die Verwendung eines solchen als Hörer und eines gewöhnlichen Mix & Genestschen Dosenmikrophons als Geber mit Induktionsspule (Transmitter) und 2 bis 4 Volt im primären Kreise vortreffliche Wiedergabe der Sprache wie von Gesang, Musik usw., zwar nicht so laut wie mit Anwendung des elektromagnetischen Fernhörers (Modell der Reichspost), aber eher klarer und freier von Nebengeräuschen; Einschaltung von 100000 Ohm induktionsfreien Widerstandes verminderte die Verständigung nicht im mindesten. Durch die Freundlichkeit des Herrn Professor Simon hatte ich Gelegenheit, die Empfindlichkeit noch genauer zu vergleichen mit den sehr empfindlichen Telephonen Ericsonscher Bauart (mit bis zu 7000 Ω Spulenwiderstand) unter Einschaltung des 60 km langen Kabels der Abteilung für angewandte Elektrizität am hiesigen physikalischen Institut: hier zeigte sich bedeutende Überlegenheit des elektromagnetischen über das Kapillartelephon deutlich, indem ersteres auch ohne, letzteres nur mit Zwischenschaltung Pupinscher Spiralen (je eine auf $1\frac{1}{2}$ Kilometer) gute Verständigung ermöglichte.

Zur Verbesserung der Wirkung habe ich Anwendung mehrerer Kapillarröhren („Multiplikation") versucht; indessen erwies sich Verbesserung der Lautstärke bei Anwendung als Hörer auf diese Weise nicht als erreichbar. Offenbar ist die übertragene Energiemenge so gering, daß ihre Verteilung auf mehrere in

1) Archives de physiologie (5) 1, 460, 1889.

1) J. Bernstein hat aus dem wohl nicht ganz deutlichen französischen Text das Umgekehrte (Sprechen gegen die Membran und Hören der Worte im Telephon) irrtümlicherweise herausgelesen, selbst aber, zusammen mit A. Tschermak, welcher das d'Arsonvalsche Modell nachbildete, erfolgreiche Versuche in dem oben dargestellten Sinne daran gemacht. Pflügers Archiv f. d. gesamte Physiologie **85**, 272, 1901.

Bewegung zu setzende gleichgroße Quecksilbermassen nur die Bewegung jeder einzelnen schwächt, statt die Schwingungsamplitude der Membran als Gesamtwirkung zu vergrößern. Dabei war es gleichgültig, ob die Kapillaren hintereinander oder nebeneinander geschaltet wurden, wie bei ihrem geringen Leitungswiderstande nicht anders zu erwarten war; er beträgt meist weniger als 0,1 Ohm; allzu starke (kapillare) Einengung der Mitte der Röhrchen schwächt nur die Wirkung ab. Auch die mechanische Anordnung bei den Multiplikationsversuchen erwies sich als belanglos. Ich habe u. a. einen Stern von 6 bis 8 Kapillaren mit zugehörigen „Galgen" auf einer Membran von etwa 7 cm Durchmesser angeordnet, auch mehrere Kapillaren zur Kette aneinandergereiht, deren eines Ende am Zentrum der Membran, das andere am „Galgen" oder auch an der Gehäusedecke (s. unten) angriff. Diese dem Bréguetschen Rohr mit mehreren Quecksilbertropfen, sowie dem d'Arsonvalschen Muskelmodell entsprechenden Anordnungen wirkten entschieden weniger gut als die einfache Lovénsche Form. Übrigens konnte hier die Glaskapillare recht wohl durch einen 1 mm weiten Gummischlauch ersetzt werden, welcher in der Mitte durch einen außen herumgelegten Faden oder Draht eingeschnürt wird.

Die Hintereinanderschaltung mehrerer Kapillaren schien noch eher sich als vorteilhaft zu erweisen für die Verwendung als Geber; hier glaube ich das beste Resultat erzielt zu haben bei der Anordnung, daß die Beine des „Galgens" durch zwei etwas dickwandigere Kapillaren gebildet werden, während eine dritte zartere wie bei Lovén in der Mitte angebracht ist. Die Schaltung der sechs Quecksilbermassen muß so erfolgen, daß der Strom die letztgenannte Kapillare in umgekehrter Richtung durchsetzen würde wie die beiden erstgenannten (siehe nachstehende Skizze Figur 3. Ich sehe hierin

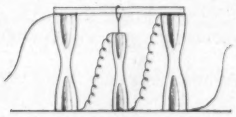


Fig. 3.

eine Bestätigung der wohl auch von Lovén beabsichtigten Wirkungsweise des „Galgens", daß er das Schwingen der Membran in aliquoten, durch Knotenlinien getrennten Teilen befördere.

Die Verwendung größerer Glas- oder Holzmembranen mit nach Figur 3 angeordnetem Kapillarsysteme als Geber lieferte in einem Kapillarfernhörer erträgliche Wiedergabe lauten Gesangs; daß es nur an quantitativer Insuffizienz, nicht an mangelhafter Umsetzung der Schallschwingungen in elektrische Stromschwankungen liegt, wenn die Wiedergabe der Sprache ungenügend bleibt, das zeigte sich darin, daß in ein Kapillartelephon Hineingesprochenes in einem damit verbundenen guten elektromagnetischen Fernhörer leise, aber durchaus klar und deutlich zu hören, ebenso wie umgekehrt in den letzteren Hineingesprochenes im Kapillartelephon gut verständlich ist.

Noch weitere Verbesserung der Lautstärke des Kapillartelephons erscheint mir nach vielen von mir angestellten vergeblichen Versuchen vorläufig wenig wahrscheinlich; es bedeutet dies zusammen mit der relativen Zerbrechlichkeit der Flüssigkeit enthaltenden Kapillare einen entschiedenen Nachteil gegenüber dem elektromagnetischen Telephon, welches ja bekanntlich bei passender Konstruktion selbst gleichlaute Wiedergabe des Schalles gestattet. Dagegen dürfte gegenüber dem Kondensatortelephon und den mir bekannt gewordenen sog. elektrolytischen Telephonkonstruktionen, welche entweder nur mit Starkstrom funktionieren oder schwer handlich sind, das Kapillartelephon bei Benutzung mit einem gewöhnlichen Mikrophon als Geber doch einen in besonderen Fällen mit Vorteil verwendbaren Fernhörer darstellen, wo es auf ganz besonders geringes Gewicht ankommt. Ich habe mit Schallmuschel aus leichtem Holze, Membran aus 0,2 mm dickem Glas oder Ferrotypblech, Aluminiumgalgen und Schutzhülse aus dünnem Aluminiumblech Hörer anfertigen lassen, welche nur wenige Gramm wiegen. Selbst in den äußeren Gehörgang einzuschiebende Modelle dürften sich für physiologische und medizinische Zwecke eventuell herstellen lassen. Bemerkt muß auch werden, daß die Haltbarkeit resp. Lebensdauer eine weitgehende ist. Ich habe viele Stunden und tagelang Induktionsströme von der Stärke mittlerer Mikrophonströme durchgehen lassen, ohne die Wirkung abnehmen zu sehen; auch haben sich nunmehr über ein Jahr lang aufbewahrte Kapillartelephone unverändert wirksam erhalten. Zu starke Ströme würden natürlich zerstörend wirken; bei 8 Volt im Primärkreise des Mikrophons bewirkten laute Schalleindrücke zwar Entstehung von Gasblasen, ohne jedoch zunächst die Wiedergabe wesentlich zu beeinträchtigen.

Daß der „Galgen" nicht notwendig ist, ergibt sich schon aus der zweiten, mit Lippmann ausgeführten Form, welche Bréguet beschreibt. Indessen fand ich Instrumente ganz ohne solchen (mit Lovénscher Kapillare) bedeutend schlechter wirkend. Seine schon oben angedeutete mutmaßliche Wirkungsweise finde ich gestützt durch den Befund, daß winkelig

geknickte oder gebogene Kapillaren in der exzentrischen Anordnung (Fig. 4a) recht gute Wirkung geben, horizontal auf der Membran befestigte (Fig. 4b) dagegen die allergeringste. Da ferner jeder Versuch, die eine der beiden Quecksilbermassen der Kapillare größer zu machen als die andere (einerlei, ob die an der

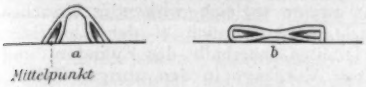



Fig. 4a. Fig. 4b.

Membran oder die am Galgen liegende) die Wirkung gegenüber der „symmetrischen" Anordnung nur verschlechterte, so halte ich diese letztere, zumal in Verbindung mit dem „Galgen" für wesentlich, und ich bin zu folgender Vorstellung der ungefähren Wirkungsweise des Instruments gelangt, welche ganz im Sinne Lovéns gedacht ist.

Jeder die Kapillare in der Richtung nach der Membran zu durchsetzende Strom wird den Berührungsmeniskus der „oberen" Quecksilbermasse mit dem Säuretropfen nach unten zu verschieben resp. spitzer zu machen, denjenigen der „unteren" Quecksilbermasse somit abzuflachen suchen (Figur 5b; 5a stellt die

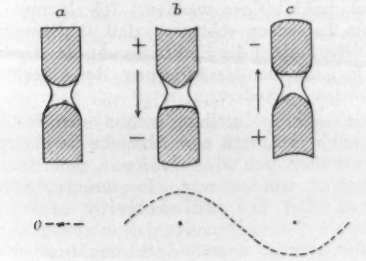



Fig. 5.

Ruhelage dar); das Umgekehrte wird ein in der Richtung von der Membran nach dem Galgen durch die Kapillare gehender Strom bewirken (Figur 5c). Da Zurückbleiben von Luft bei der Anfertigung der Kapillare möglichst vermieden werden muß, Platz zum Ausweichen für das Quecksilber also nicht vorhanden ist, so wird sich in ersterem Falle Tendenz zur Ausbauchung am unteren Kapillarende, somit Druck gegen die Membran, Tendenz zur Einziehung am oberen Ende, somit Zug am Galgen, im zweiten Falle genau das Umgekehrte einstellen (siehe Figur 5a und b). Beim Durchgang von Wechselströmen wird also durch Abwechselung von Zug und Druck das Zentrum der Membran mechanische Antriebe erhalten, welche um so genauer dem zeitlichen Verlauf der ersteren (resp. den sie erzeugenden Schallschwingungen) entsprechen, je geringer die Exkursionen sind (bei dicht verschlossener Kapillare), so daß die wohlbekannte Deformierung des zeitlichen Verlaufs der Potentialänderung bei der Kapillarelektrometerkurve ausbleibt, es sich vielmehr in der Tat im Sinne d'Arsonvals um „molekulare Größenordnung" handelt.

Genau entsprechend, nur umgekehrt, verlaufen natürlich die Vorgänge bei der Anwendung als Geber. Dadurch, daß Zug am Galgen als Druck auf die Membran wirkt, erhält diese an den Füßen desselben gleichgerichtete Impulse, wie durch die Kapillare, so daß dort, wie in der Mitte Schwingungsbäuche (siehe den schematischen Querschnitt Figur 6) zu denken

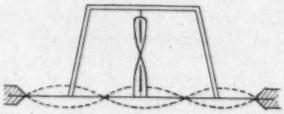


Fig. 6.

wären, dazwischen, sowie am äußersten festgeklemmten Rande Knotenlinien, nach meiner Ansicht kreisförmige. Ob Lovén sich die Sache so oder ob er an eine Durchmesser-Knotenlinie gedacht hat usw., hat er nicht angegeben.

Die Formulierung einer Theorie, welche Berechnung der Wirkungsgrenzen des Kapillartelephons erlauben würde, scheint mir vorläufig noch auf Schwierigkeiten zu stoßen; abgesehen von den auch für das elektromagnetische Telephon verwendbaren Daten, wie die zur Erzeugung der eben wahrnehmbaren Schallintensitäten nötigen Energiemengen (auch streitig, Wien kontra Zwaardemaker u. Quix) usw. dürften einige Betrachtungen über das Verhältnis der elektrischen zur mechanischen Arbeit im Kapillarelektrometer, welche sich in einer Arbeit Einthovens[1]) finden, einen ersten Anhaltspunkt abgeben.

1) Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie **79**, 1, 1900.

Göttingen, Physiologisches Institut, Februar 1906.

(Eingegangen 1. Februar 1906.)

**Elektrisierung eines isolierten metallischen Leiters durch einen ihn umgebenden Metallzylinder, der geerdet und von dem zu untersuchenden Leiter durch Luft getrennt ist.**

Zweite Mitteilung.

Von J. J. Borgmann.

In meiner ersten Mitteilung (die ebenso wie die vorliegende betitelt war [1]) habe ich über eine sehr merkwürdige Erscheinung berichtet, welche von mir und meinem Mitarbeiter A. P. Afanassieff beobachtet wurde, als wir Versuche über Ionisierung der Luft anstellten, welche in einen mit der Erde verbundenen Metallzylinder eingeschlossen war, in dessen Innerem axial ein sorgfältig vom Zylinder isolierter und mit dem Dolezalekschen Elektrometer verbundener Draht befestigt war. Wir bemerkten, daß, sobald dieser Draht von der Erde isoliert wurde, während der Zylinder mit derselben in Verbindung blieb, die Nadel des Elektrometers sich sofort in Bewegung setzte, was auf eine Entstehung einer elektrischen Ladung im Drahte hindeutete; die Bewegung der Nadel währte eine ziemlich lange Zeit, wonach dieselbe dann in gewissem Winkelabstand von ihrer Ruhelage stehen blieb. Als wir nun alle Maßregeln getroffen hatten, um im System, welches also aus einem Drahte, von einem Zylinder umgeben, ferner aus einem in eine schützende Messingröhre eingefügten Verbindungsleiter und aus den Quadranten des Elektrometers bestand, jegliche Volta-Erscheinungen zu vermeiden, indem wir das ganze System aus homogenem Material konstruierten (der Draht im Zylinder, der Verbindungsleiter und auch jener Draht, welcher das System mit der Erde verband, waren alle von demselben Material, wie die Quadranten des Elektrometers, nämlich von Messing) und als wir Beobachtungen mit Zylindern von verschiedenen Metallen aufstellten (diese Zylinder wurden in jenen Messingzylinder hineingefügt, an welchen der Draht befestigt war), konnten wir konstatieren, daß die endgültige Potentialgröße des Drahtes ganz von der Natur des den Draht umgebenden Metallzylinders abhing. Aber wir konnten auch bemerken, daß die Elektrometernadel auch dann abgelenkt wurde, wenn der im Zylinder eingeschlossene Draht ganz vom Verbindungsleiter getrennt war, d. h. wenn ein isoliertes System zustande kam, welches nur aus dem Verbindungsleiter und den mit ihm verbundenen Elektrometerquadranten bestand. In diesen Fällen sahen wir sogar eine ziemlich große endgültige Ablenkung der Elektrometernadel. So muß denn die bei ganzem System (bestehend aus dem Draht, welcher von einem mit der Erde verbundenen Zylinder umgeben ist, aus dem Verbindungsleiter und dem Quadrantenpaar des Elektrometers) von uns beobachtete Ablenkung der Elektrometernadel auf eine Entstehung einer Ladung im System hindeuten, welche als Resultat zweier zugleich wirkender Ursachen zu betrachten ist, nämlich 1. der Elektrisierung des Drahtes innerhalb des Zylinders und 2. gewisser Vorgänge in den übrigen Teilen des Systems, welche ebenfalls eine Ablenkung für sich hervorrufen. Indem ich dieses in Betracht zog und von den beobachteten endgültigen Ablenkungsgrößen der Nadel die Ablenkung unter Einwirkung der zweiten Ursache subtrahierte, erhielt ich eine Reihe Zahlen, welche zeigten, daß ein isolierter Draht positive Ladung erhält, wenn ihn ein mit der Erde verbundener Zylinder von Zink, Aluminium, Blei, Eisen, Zinn, Nickel, Silber oder Kupfer umringt; nur ein Messingzylinder verursachte eine negative Ladung des Drahtes. Ich konstatierte ferner, daß bei Beobachtungen mit einem Bleizylinder, welche ca. zwei Wochen gedauert hatten, an verschiedenen Tagen ziemlich große Veränderlichkeit der Elektrisierung des Drahtes zu bemerken war; wir sahen die elektrische Ladung des Drahtes im Laufe der Tage bald größer, bald kleiner werden. Ich konnte aus einigen Tatsachen schließen, daß bei Benutzung von Bleizylindern die Elektrisierung des Drahtes sich je nach der Veränderung der Oberfläche des Bleies verändert.

Als meine Mitteilung schon veröffentlicht war, erfuhr ich, daß eine ähnliche Erscheinung schon früher von Mac Lennan und Burton beobachtet worden war. In ihrem Artikel [1]) betitelt: „On the radioactivity of metals generally" berichten sie, daß in einem Metallzylinder, der in einen anderen aus demselben Material verfertigten Zylinder eingefügt und von ihm durch eine Schicht Gas isoliert war, eine Entstehung negativer Ladung konstatiert werden kann. Sie hatten dabei gefunden, daß verschiedene Metalle eine verschiedene Ladungsgröße zeigen; die größte fanden sie am Blei, sodann folgen Aluminium, Zink, Zinn, Kupfer. Sie nannten diese Erscheinung „Metalleffekt" und meinten, sie könne als Resultat einer ununterbrochenen Emission aus den Metalloberflächen von α-Strahlen, d. h. kleinsten positiv geladenen Teilchen, angesehen werden. Sie haben auch Versuche angestellt, bei denen die beiden Zylinder, der innere und der äußere, aus verschiedenen Metallen hergestellt waren und aus den Ergebnissen dieser Versuche die Größe

1) Diese Zeitschrift **5**, 542, 1904.

1) Phil. Mag. **6**, 343, 1903; diese Zeitschr. **4**, 553, 1903.

der Potentialdifferenz (Volta-Erscheinung), die durch gegenseitige Berührung dieser beiden Metalle entstehen könne, berechnet. Doch wurden diese letztgenannten Resultate der Autoren bereits einer Kritik unterworfen[1]); es wurde nämlich darauf hingewiesen, daß die Volta-Erscheinung in solchen Verhältnissen durch das Elektrometer nicht entdeckt werden könne, und daß sie daher zu kleine Zahlen für die Potentialdifferenzen bei Berührung zweier Metalle erhalten hätten. Das System, in welches das Elektrometer bei MacLennan und Burton eingereiht war, bestand nämlich aus heterogenen Teilen, weshalb im System selbst schon Volta-Erscheinungen auftreten mußten; außerdem konnten dort auch thermoelektrische Erscheinungen auftreten. Alles das mußte auf das Elektrometer seinen Einfluß haben. Außerdem haben MacLennan und Burton auch jenen Umstand nicht in Betracht gezogen, den wir in unseren Versuchen wohl bedachten. Sie haben nämlich die Erscheinungen am Elektrometer während der Zeit nicht beobachtet, als ihr Zylinder von demselben getrennt wurde, d. h. als nur der Verbindungsleiter zusammen mit den zwei Quadranten isoliert wurde. Es ist sehr möglich, daß sie eben wegen der großen elektrischen Kapazität des Zylinders, welcher von dem mit der Erde vereinigten Zylinder umgeben war, Erscheinungen beobachtet haben, welche hauptsächlich von jenen Vorgängen abhingen, die in den übrigen Teilen des Systems — den Leitern und dem Elektrometer — stattfanden. Ich muß hier sagen, daß wir bei Isolierung der Quadranten und des mit ihnen vereinigten Verbindungsleiters immer eine solche Ablenkung der Nadel konstatierten, welche einem negativen Potential der Quadranten entsprach. Ich denke, daß alle diese Umstände die von Mac Lennan und Burton erhaltenen Resultate zweifelhaft erscheinen lassen; anderseits machen sie aber auch den Widerspruch zwischen den Resultaten dieser Forscher und den unseren erklärlich. Ich hebe noch einmal hervor, daß in unseren Versuchen das ganze System, um Komplikationen zu vermeiden, aus homogenem Material konstruiert war (aus Messing).

Im Laufe des Jahres 1904 habe ich zusammen mit A. P. Afanassieff wieder eine Anzahl Beobachtungen dieser Erscheinungen gemacht. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen bestätigen, wie es mir scheint, vollständig den am Ende des vorigen Artikels über diese Frage ausgesprochenen Gedanken. In jenem Artikel hatte ich nämlich die Meinung ausgesprochen, daß die von mir bei Versuchen mit Zylindern aus neun verschiedenen Metallen beobachtete positive Elektrisierung des Drahtes dadurch zu erklären sein könne, daß, während die Zylinder mit der Erde verbunden sind, die Luft in diesen Zylindern positiv elektrisiert werde, weil die innere Oberfläche der Metallzylinder $\alpha$-Strahlen ausströme, die nicht alle die Luft durchlaufen, sondern teilweise von ihr aufgefangen werden und sie also positiv elektrisieren. Ich hatte nur ein Bedenken. Aus den damals erhaltenen Tatsachen mußte ich schließen, daß der Draht in einem Messingzylinder sich negativ elektrisiere, und dieser Umstand kam mir als ein störender vor. Doch haben meine in letztem Jahre angestellten Versuche die Frage völlig aufgeklärt; sie zeigten mir, daß meine damalige Schlußfolgerung hinsichtlich der Wirkung des Messingzylinders nicht richtig war. Im Messingzylinder elektrisiert sich der Draht wie in allen übrigen Zylindern ebenfalls positiv. Diesen neuen Schluß mußte ich fassen nach einer großen Anzahl von Versuchen, die alle miteinander auf das beste stimmten. Der Grund, warum ich früher zu einem entgegengesetzten Schluß kam, liegt darin, daß ich damals nicht genug die Veränderungen des Elektrometers in dem Falle, wo der Zylinder von letzterem getrennt war, studierte; überhaupt hatte ich damals zu wenig Versuche in dieser Richtung angestellt.

Bei den letzten Versuchen verfuhr ich gewöhnlich so: In den Messingzylinder, an welchem der Draht befestigt wurde, wurde der zu untersuchende Metallzylinder eingeschoben. Durch diesen Zylinder ließen wir ungefähr eine halbe Stunde lang ununterbrochen frische trockene Luft strömen und zu gleicher Zeit wurde dabei die Ionisation der Luft bestimmt. Nach Aufhören des Luftstromes wurde wiederum die Ionisation der Luft bestimmt; nachdem wurden der Zylinder wie auch der Draht mit der Erde verbunden und sobald die Nadel des Elektrometers zur Ruhe kam, wurde die Verbindung des Drahtes mit der Erde wieder unterbrochen. Bei einigen Versuchen wurde nun eine Zeitlang die Stellung der Nadel in jeder Minute notiert, der Draht blieb isoliert, solange bis die Nadel zum Stehen kam, d. h. bis mehrere Stunden lang keine merkliche Veränderung der Lage der Nadel zu sehen war. Dann wurde diese endgültige Stellung der Nadel notiert und der Draht wieder mit der Erde verbunden, wodurch die Nadel in eine der ursprünglichen sehr nahe Lage zurückging. Aus diesen Beobachtungen wurde die Ablenkung der Nadel berechnet. Gleich nachher wurde die Ionisation der Luft im Zylinder bestimmt. Nun wurde von neuem dieselbe Beobachtung des Anwachsens des Potentials am Drahte wiederholt, oder es wurde ein anderer Versuch gemacht: der Draht von dem Verbindungsleiter

1) Voller, diese Zeitschr. **4**, 666, 1903.

getrennt, letzterer auf kurze Zeit mit der Erde verbunden, sodann diese Verbindung wieder unterbrochen, d. h. der Leiter und das Quadrantenpaar wurde isoliert. In solchem Falle, wie schon erwähnt, geriet die Nadel ebenfalls sogleich in Bewegung und blieb nach gewisser, ziemlich langer Zeit in gewisser Winkelentfernung von der vorherigen Ruhelage stehen. Nachdem wurde wiederum der Draht im Zylinder mit dem Verbindungsleiter verbunden, die Ionisation im Zylinder bestimmt, der Draht im Zylinder von der Erde isoliert und der Potentialanwuchs des Drahtes beobachtet. Und so weiter. Solche nacheinanderfolgende Beobachtungen der Luftionisation, des Potentialanwuchses am Drahte und endlich der Stellungsveränderungen der Nadel, wenn nur das Quadrantenpaar des Elektrometers und die zugehörigen Leiter isoliert waren, wurden gewöhnlich mehrmals gemacht, worauf sehr viel Zeit verwendet wurde. Ich habe solche Beobachtungen über den Potentialanwuchs des Drahtes angestellt mit Zylindern aus Blei, Zink, Zinn, Aluminium, Eisen, Kupfer, Messing, Messingnetz (doppelter netzartiger Zylinder) und Koks, und endlich mit Zylindern, die aus doppeltem Netzgewebe bestanden, in dessen Innerem eine von den sieben Schlammarten eingefügt war. (Ich hatte Bäderschlamm vom Kaukasus, Odessa, Saki, Pernau, Arensburg, Berdjansk und Kemmern verwendet.)

Die Beobachtungen führten mich zu folgenden Schlüssen:

1. Jedesmal, wenn ein Quadrantenpaar des Dolezalekschen Elektrometers mit der Erde verbunden war, das zweite Paar aber mit den mit ihm verbundenen und in Messingschutzröhren eingefügten Verbindungsleitern isoliert wurde, konnte man eine Bewegung der Elektrometernadel (welche beständig beim Potential +100 Volt war) konstatieren; die Nadel bewegte sich in der Richtung, welche sie bei der Ladung der isolierten Quadranten mit negativer Elektrizität angenommen hätte. Die Bewegung dauerte einige Stunden; dann blieb die Nadel stehen, d. h. richtiger, es ließen sich nur äußerst schwache Bewegungen nach dieser oder jener Richtung aufweisen.

2. Derartige endgültige Ablenkungen der Nadel erwiesen sich in allen Beobachtungen, die in verschiedenen Zeiten, doch bei gleichgehaltener Entfernung zwischen der Nadel und Quadranten vorgenommen wurden, als gleich. Bei Änderung dieser Entfernung, d. h. bei Stellung der Nadel innerhalb der Quadranten höher resp. niedriger, konnte man auch eine Änderung im Grade der Ablenkung der Nadel aufweisen.

3. Wenn nun der Draht, welcher sich innerhalb des Zylinders befindet, mit dem Elektrometer verbunden wurde, wobei der Zylinder in Verbindung mit der Erde stand, der Draht aber isoliert wurde, begann eine Ablenkung der Nadel; die endgültige Stellung der Nadel, d. h. die Stellung, von der sie mehr keine oder richtiger nur äußerst kleine Abweichungen zeigte, war von der Substanz des Zylinders, welcher den Draht umgab, abhängig. Bei Zylindern aus Blei, Zinn, Zink, Aluminium, Messing und auch bei besonderen aus doppeltem Netzgewebe verfertigten Zylindern, welche mit Odessa-, Saki- oder Berdjansk-Schlamm angefüllt wurden, erhält man eine positive Ablenkung der Nadel, d. h. nach jener Seite hin, die einer positiven Ladung im Drahte entspricht. Bei Zylindern aus Kupfer und Eisen und auch bei Doppelnetzzylindern mit Arensburger Schlamm war die Ablenkung der Nadel negativ, doch war diese Ablenkung geringer als diejenige, die wir unmittelbar vorher und nachher bei Trennung des Elektrometers vom Drahte beobachteten. Bei Kokszylindern und bei Doppelnetzzylindern mit kaukasischem oder pernauschem Schlamm sah man eine negative Ablenkung, die aber größer war, als die entsprechende Ablenkung bei getrenntem Elektrometer.

4. Wenn wir annehmen, daß die Ablenkung der Nadel des Elektrometers von zwei Ursachen abhängt, von einer Elektrisierung des Drahtes innerhalb des Zylinders einerseits und von gewissen Vorgängen im übrigen System (d. h. im Elektrometer und dem mit ihm verbundenen Verbindungsleiter) anderseits, und wenn wir also von den definitiven, bei Verbindung des Elektrometers mit dem innerhalb des Zylinders befindlichen Drahte erhaltenen Ablenkungsgrößen diejenigen abziehen, die unmittelbar vorher oder nachher bei bloßem Verbundensein des Elektrometers mit dem Leiter erhalten worden waren, so ergibt es sich, daß das Umgeben des Drahtes mit Zylindern von Blei, Zinn, Zink, Aluminium, Messing, Kupfer, Eisen und von Doppelnetzzylindern mit Schlamm aus Odessa, Saki, Berdjansk und Arensburg, eine positive Ladung des Drahtes verursacht. Zylinder aus Koks oder Doppelzylinder mit Schlamm vom Kaukasus oder aus Pernau verursachen dagegen eine negative Ladung am Drahte.

5. Wenn der Versuch gleich nach dem Durchlassen frischer Luft durch den Zylinder vorgenommen wurde, so mußte vom Momente der Isolierung des Drahtes bis zum endgültigen Stehenbleiben der Elektrometernadel viel mehr Zeit vergehen, als in jenen Fällen, wo der Versuch 24 Stunden oder mehr nach Durchlassung der Luft vorgenommen wurde. Dies konnten wir in allen unseren Versuchen konstatieren. Je längere Zeit die Luft im Zylinder unerneuert geblieben war, desto weniger Zeit war nötig,

um eine definitive Ablenkung zu erhalten. Diese Verkürzung der Elektrisationszeit war von der Veränderung der Ionisation der Luft nicht abhängig; denn in einigen Fällen sahen wir keine Vergrößerung der Ionisation, ja sogar eine Verminderung derselben und doch wurde die Elektrisationszeit kürzer.

6. Wenn die Luft im Zylinder nicht erneuert wurde, so wurde die endgültige positive Ablenkung mit jedem neuen Versuch immer größer und, umgekehrt, die negative Ablenkung, welche am Anfang kleiner war, als die bei Trennung des Drahtes vom Elektrometer beobachtete, wurde mit der Zeit noch kleiner. Also, je länger die Luft sich innerhalb des Zylinders befindet, desto höher steigt die positive Ladung des Drahtes. Wenn aber am Anfang eine negative Ablenkung, die größer als jene bei Trennung des Drahtes beobachtete ist (wie dies z. B. bei Kokszylindern und bei Kaukasus- und Pernau-Schlamm der Fall war), so wurde diese negative Ablenkung mit der Zeit größer. Die Erneuerung der Luft innerhalb des Zylinders durch frische hatte eine Verminderung der Ladung des Drahtes zur Folge, was in allen Versuchen konstatiert werden konnte.

Diese Resultate unserer Beobachtungen geben mir, wie ich denke, ein Recht zu behaupten, daß die von uns konstatierte Elektrisierung des Drahtes von der ihn umgebenden Luft verursacht wird, d. h. daß in der Luft, welche innerhalb eines mit der Erde verbundenen leitenden Zylinders eingeschlossen ist, ein Überfluß von Ionen mit gewissem Vorzeichen entsteht. Wenn die Luft von einem Metallzylinder oder von einer Schicht Bäderschlamm aus Odessa, Saki, Berdjansk und Arensburg umgeben ist, so erscheint in dieser Luft ein Überfluß von positiven Ionen; wenn die Luft von einem Kokszylinder oder von einer Schicht kaukasischen oder pernauschen Schlammes umschlossen ist, so entsteht ein Überfluß von negativen Ionen.

Ich weise hier auf die Arbeiten von Campbell[1]) hin; dieser Forscher hat aus seinen sehr geistreich angestellten Versuchen den Schluß gezogen, daß die gewöhnlichen Metalle (Blei, Zinn, Aluminium, Zink) nur $\alpha$-Strahlen, d. h. materielle Teilchen, welche mit positiver Elektrizität geladen sind, ausströmen. Also stimmt meine Vermutung, daß die Luft innerhalb der Metallzylinder mit positiver Elektrizität geladen wird, vollkommen mit der Voraussetzung Campbells.

Wenn nun alles, was ich auf Grund unserer bisherigen Beobachtungen gefolgert habe, richtig ist, so könnte die Frage über die atmosphärische Elektrizität wohl sehr einfach zu lösen sein.

1) Phil. Mag. **9**, 534, 1905.

Mir scheint es wahrscheinlich, daß das Ablenken der Elektrometernadel auch in jenem Falle, wenn ein Quadrantenpaar mit der Erde verbunden bleibt, während das andere isoliert und wenn die Nadel selbst bei konstantem Potential bleibt, durch Elektrisation der Luftschicht zwischen den Quadranten verursacht wird. Diese Luftschicht wird an jener Seite, welche dem mit der Erde vereinigten Quadrantenpaar zugewendet ist, anders elektrisiert, als an der Seite der isolierten Quadranten. Ein Metall, welches mit der Erde vereinigt ist, muß in einer Zeiteinheit mehr positiv geladene Teilchen in die Umgebung ausströmen, als wenn dasselbe isoliert ist.

Ich muß noch hinzufügen, daß ich in unseren Versuchen eine Möglichkeit der Ladung des isolierten Drahtes durch Herleitung durch die ionisierte Luft etwaiger Elektrizität von den Zylinderwänden, die dort durch Volta-Erscheinungen in der Kette — dem Metall des Zylinders, den Leitungsdrähten und der Erde — angehäuft sein konnte, ganz ausschließen muß. Wenn dem so wäre, so müßte doch irgendein Verhältnis zwischen den Vorzeichen und der Quantität der Elektrizität am Drahte und den verschiedenen Metallzylindern sein, welches den Volta-Erscheinungen entsprechen müßte. Solches ist aber gar nicht zu merken.

Als Beispiel führe ich nur einige von unseren Beobachtungsprotokollen an, da die übrigen stets dasselbe zeigen.

Die Sensibilität des Elektrometers war so groß, daß ein Skalenteil 0,0016 V. entsprach.

Die elektrische Kapazität des Systems, d. h. des Drahtes mit einem mit der Erde verbundenen Zylinder umgeben, des Leiters, in ein Schutzrohr eingeschlossen, und des Elektrometers war gleich $8{,}3 \times 10^{-11}$ Farad.

Die Ionisation der Luft im Zylinder wurde nach der Größe des Sättigungsstromes bestimmt; sie wurde in Skalenteilen ausgedrückt, welche die Nadel des Elektrometers in einer Minute durchlief.

1. Den Draht umgibt ein Blei-Zylinder Nr. 2.

25. Sept. 1904. Durch den Zylinder ist frische Luft gelassen. Ionisation ist gleich 18,3. Der Draht ist isoliert und die Geschwindigkeit des Potentialanwachsens, d. h. der Bewegung der Elektrometernadel, ist gleich 1,8 Skalenteil in der Minute.

26. Sept. $19^1/_2$ Std. nach Isolierung des Drahtes ist die definitive Ablenkung gleich +160; Ionisation 20,5.

28. Sept. 18 Std. nach der (zweiten) Isolierung des Drahtes ist die definitive Ablenkung +180; Ionisation 22,3. Draht

wieder isoliert; Geschwindigkeit des Anwachsens nun 5,7.

5 Std. nach Isolierung des Drahtes definitive Ablenkung +182. Ionisation 20,6. Nach Isolierung des Drahtes Anwuchsgeschwindigkeit 5,7.

4 Std. nach Isolierung des Drahtes definitive Ablenkung +181. Ionisation 21,8. Anwuchsgeschwindigkeit 5,7.

29. Sept. 3½ Std. nach Isolierung des Drahtes definitive Ablenkung +192,5. Ionisation 20,25. Anwuchsgeschwindigkeit 6,1.

30. Sept. Es wurde wieder frische Luft durch den Zylinder gelassen. Ionisation 19,7. Nach Isolierung des Drahtes ist die Anwuchsgeschwindigkeit 2.

2. Okt. 43 Std. nach Isolierung des Drahtes ist die Ablenkung +172. Ionisation 20,6; Anwuchsgeschwindigkeit nach Isolierung des Drahtes 5,4.

4. Okt. 45 Std. nach Isolierung des Drahtes Ablenkung gleich +176. Nach Isolierung des Drahtes Anwuchsgeschwindigkeit 5,8.

5. Okt. Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.

6. Okt. Definitive Ablenkung der Nadel beim Getrenntsein des Elektrometers vom Drahte (Elektrometer war 24 Std. isoliert geblieben) ist gleich −48.

7. Okt. Der Draht ist wieder mit dem Elektrometer verbunden. Die Luft im Zylinder blieb dieselbe seit dem 30. Sept. Anwuchsgeschwindigkeit nach Isolierung des Drahtes ist 5,5.

7. Okt. 4 Std. nach Isolierung des Drahtes Ablenkung +183,5. Ionisation 20,2.

8. Okt. 19 Std. nach Isolierung des Drahtes. Ablenkung +181; Ionisation 21,35.

2. Den Draht umgibt ein Bleizylinder Nr. 3.

30. Okt. Frische Luft ist durchgelassen. Ionisation 12. Nach Isolierung des Drahtes ist die Anwuchsgeschwindigkeit 1 Sk.-T.

31. Okt. 24 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +212. Ionisation 13,5. Nach Isolierung des Drahtes ist die Anwuchsgeschwindigkeit 4,6 Sk.-T.

1. Nov. 23½ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +234. Ionisation 13,7. Nach Isolierung des Drahtes Anwuchsgeschwindigkeit 5 Sk.-T.

Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.

Definitive Ablenkung der Nadel des Elektrometers, während des Getrenntseins vom Drahte war nach 12½ Std. gleich −52.

Der Draht ist wieder mit dem Elektrometer verbunden. Die Luft im Zylinder bleibt unerneuert vom 30. Okt.

2. Nov. 23 Std. nach Isolierung des Drahtes ist die Ablenkung +236; Ionisation 14,1.

3. Den Draht umgibt ein Bleizylinder Nr. 4 (kleiner im Diameter als Nr. 2 und 3).

25. Nov. Frische Luft ist durchgelassen. Ionisation 11,25.

27. Nov. 45 Std. nach Isolierung des Drahtes ist die Ablenkung +223. Ionisation 10,3.

4. Den Draht umgibt ein Zinnzylinder.

25. Dez. Frische Luft ist durchgelassen. Ionisation 5,32.

27. Dez. 44 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +153, Ionisation 5,4.

5 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +162.

31. Dez. 96½ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +166,5, Ionisation 5,2.

7 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung 168,5.

4. Jan. 1905. 97 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +168,5.

9. Jan. Ionisation 5,15.

10. Jan. 23 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +172.

11. Jan. 45 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +174,5.

12. Jan. 25 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +174,5.

13. Jan. 27 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +178,5.

15. Jan. 24½ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +177,5, Ionisation 5,1.

5. Den Draht umgibt ein Zinkzylinder.

15. Okt. 1904. Frische Luft ist durchgelassen. Ionisation 3,66. Nach Isolierung des Drahtes ist die Anwuchsgeschwindigkeit sehr gering.

17. Okt. 44½ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +129. Ionisation 6,05. Nach Isolierung des Drahtes Anwuchsgeschwindigkeit 2,7.

3½ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +131, Anwuchsgeschwindigkeit 2,5 Sk.-T.

7½ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +139, Anwuchsgeschwindigkeit 2,5 Sk.-T.

18. Okt. 12 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +146,5, Ionisation 6,9 Sk.-T.

Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.

5 Std. nachher war die definitive Ablenkung −41.

6. Den Draht umgibt ein Aluminiumzylinder.

25. Okt. 1904. Frische Luft ist durchgelässen. Ionisation 1,25. Nach Isolierung des Drahtes ist die Anwuchsgeschwindigkeit höchst gering.

27. Okt. $41\frac{1}{2}$ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +88,5, Ionisation 2,7.

Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.

12 Std. nach der Trennung ist die definitive Ablenkung der Nadel —45.

28. Okt. Der Draht ist wieder mit dem Elektrometer verbunden. Nach Isolierung des Drahtes ist die Anwuchsgeschwindigkeit 0,6.

29. Okt. 16 Std. nach der Isolierung des Drahtes, Ablenkung +96, Ionisation 3,9.

30. Okt. $25\frac{1}{2}$ Std. nach der Isolierung des Drahtes, Ablenkung +105, Ionisation 3,35.

7. Den Draht umgibt ein Messingzylinder.

12. Okt. Frische Luft ist durchgelassen.

13. Okt. 23 Std. nach der Isolierung des Drahtes, Ablenkung +80, Ionisation 4,5.

3 Std. nach der Isolierung des Drahtes, Ablenkung +73.

14. Okt. $5\frac{3}{4}$ Std. nach der Isolierung des Drahtes, Ablenkung +72,5, Ionisation 3,9.

Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.

15. Okt. $20\frac{1}{4}$ Std. nachher ist die definitive Ablenkung der Nadel —48.

Der Draht ist wieder mit dem Elektrometer verbunden.

$5\frac{1}{4}$ Std. nach der Isolierung des Drahtes, Ablenkung +77,5, Ionisation 3,85.

8. Den Draht umgibt ein Kupferzylinder.

2. Nov. 1904. Frische Luft ist durchgelassen. Ionisation 2,1.

3. Nov. 28 Std. nach der Isolierung des Drahtes, Ablenkung —21,5, Ionisation 2,0.

4. Nov. $20\frac{1}{2}$ Std. nach der Isolierung des Drahtes, Ablenkung —17, Ionisation 2,4.

Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.

$11\frac{1}{2}$ Std. nachher ist die definitive Ablenkung der Elektrometernadel —46.

Der Draht ist wieder mit dem Elektrometer verbunden.

5. Nov. $16\frac{1}{4}$ Std. nach der Isolierung des Drahtes, Ablenkung —17,5, Ionisation 2,15.

9. Den Draht umgibt ein Eisenzylinder

18. Okt. 1904. Es wurde frische Luft durchgelassen. Ionisation 3,1.

20. Okt. 42 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —22,5.

Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.

21. Okt. $24\frac{1}{2}$ Std. nachher ist die definitive Ablenkung der Elektrometernadel —45.

Der Draht ist mit dem Elektrometer verbunden.

21. Okt. $7\frac{1}{2}$ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —21, Ionisation 2,25.

10. Den Draht umgibt ein doppelter Netzzylinder (aus Messing).

10. Nov. 1904. Frische Luft ist durchgelassen. Ionisation 2,4.

11. Nov. $20\frac{1}{2}$ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —39,5. Ionisation 2,46. Der Zylinder wird herausgenommen und mit Kujalnitzkaschlamm angefüllt.

11. Den Draht umgibt ein Doppelnetzzylinder mit Kujalnitzka-Schlamm.

11. Nov. Ionisation 9,25.

12. Nov. $22\frac{1}{2}$ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —44,5, Ionisation 10,7.

13. Nov. 26 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —14,5, Ionisation 12,5.

15. Nov. $41\frac{1}{2}$ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +8,5, Ionisation 12,55.

Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.

16. Nov. 24 Std. nachher ist die definitive Ablenkung der Nadel —42.

12. Den Draht umgibt ein Doppelnetzzylinder mit Sakser Schlamm.

30. Nov. 1904. Ionisation 7,2.

3. Dez. 70 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +20, Ionisation 8,45.

13. Den Draht umgibt ein Doppelnetzzylinder mit Schlamm aus Berdjansk.

3. Dez. 1904. Ionisation 4,7.

7. Dez. $90\frac{1}{4}$ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +22.

$3\frac{1}{2}$ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung +23, Ionisation 4,4.

Der Schlamm ist aus dem Zylinder entfernt.

Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.

9. Dez. 47 Std. nacher ist die definitive Ablenkung der Nadel —45.

Der Draht ist wieder mit dem Elektrometer verbunden; um den Draht ist der leere Netzzylinder.

10. Dez. 22 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —22,5.

14. Den Draht umgibt ein Doppelnetzzylinder mit kaukasischem Schlamm.

16. Nov. 1904. Ionisation 11,95. (Der Zylinder ist eben erst hineingelegt.)
18. Nov. 42 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —63.
$4\frac{1}{2}$ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —64, Ionisation 16,95.
19. Nov. 21 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —74, Ionisation 17,65.
15. Den Draht umgibt ein Kokszylinder.
14. Dez. 1904. $44\frac{3}{4}$ Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —64.
Frische Luft ist durchgelassen.
16. Dez. 50 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —67,5.
Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.
17. Dez. 17 Std. später ist die definitive Ablenkung der Nadel —42.
Der Draht ist wieder mit dem Elektrometer verbunden.
Frische Luft ist durchgelassen. Ionisation 0,55.
19. Dez. 43 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —60,5.
22. Dez. 76 Std. nach Isolierung des Drahtes, Ablenkung —68.
Der Draht ist vom Elektrometer getrennt.
25. Dez. 72 Std. nachher ist die definitive Ablenkung der Elektrometernadel —42.

Physik. Institut der Universität St. Petersburg.

(Eingegangen 28. Dezember 1905.)

## Zur Theorie der Diffusion der Gase.

Von J. Nabl.

P. Langevin behandelt in seiner interessanten Arbeit [1]) das Diffusionsproblem zweier Gase ineinander unter Zugrundelegung eines beliebigen, zwischen den einzelnen Molekülen vorhandenen Wirkungsgesetzes. Hierbei nimmt Langevin die Gültigkeit des Maxwellschen Geschwindigkeitsverteilungsgesetzes auch für den Fall der Diffusion an. Die Unzulässigkeit dieser Annahme hat nun schon Boltzmann [2]) seinerzeit betont; es wäre somit müßig, nochmals nachweisen zu wollen, daß die Grundlage der Langevinschen Arbeit von diesem Gesichtspunkte aus nicht ganz einwandfrei ist.

Um die Vertrauenswürdigkeit seiner allgemeinen Formel zu prüfen, wendet sie Langevin auf zwei Spezialfälle an:

Erstens auf den Fall, daß zwischen den Molekülen eine der 5. Potenz ihrer Entfernungen verkehrt proportionale abstoßende Kraft wirkt, und zweitens auf den Fall, daß sich die Moleküle wie elastische Kugeln verhalten.

Im ersten Falle ergibt die Langevinsche Formel tatsächlich den von Maxwell seinerzeit unter Annahme des 5. Potenzgesetzes gefundenen Wert für den Diffusionskoeffizienten. Im zweiten Falle gelangt Langevin zu einem scheinbar neuen Werte dieses Koeffizienten.

Ich will nun hier zeigen, daß auch der Diffusionskoeffizient, den Langevin für den Fall, daß sich die Moleküle wie elastische Kugeln verhalten, nicht neu ist, sondern sich als identisch erweist mit dem seinerzeit von Stefan [1]) berechneten, sobald man nur in letzterem das Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilungsgesetz einführt; ein Umstand, der Langevin entgangen zu sein scheint.

Langevin findet, unter der Annahme, daß sich die Moleküle wie elastische Kugeln verhalten, für den Diffusionskoeffizienten eines Gases mit der Molekularmasse $m$ in ein Gas mit der Molekularmasse $m_1$ den Wert:

$$D = \frac{3}{16\,\sigma^2 n_1}\sqrt{\frac{\pi\,k\,m\,m_1}{m+m_1}}$$

Hierbei ist $n_1$ die in der Volumeneinheit enthaltene Zahl der Moleküle von der Masse $m_1$, $\sigma$ die Radiensumme beider Molekülgattungen und $k$ die bekannte Konstante des Geschwindigkeitsverteilungsgesetzes.

Stefan findet (l. c.) unter Zugrundelegung der Annahme, daß jedes Molekül, welches sich in einem andern Gase bewegt, von diesem Gase einen Widerstand, proportional der Dichte dieses Gases und der relativen Geschwindigkeit beider, erfährt für den Diffusionskoeffizienten

$$D = \frac{1}{A}\,\frac{p_0\,p_0}{d^0\,d^0_1}\left(\frac{T}{T_0}\right)^2\frac{1}{p}.$$

Hierbei ist $A$ der betreffende Widerstandskoeffizient und hat unter der Annahme, daß sich die Moleküle wie elastische Kugeln verhalten, den Wert [2])

$$A = \frac{4\,\pi\,\sigma^2}{3}\,\frac{\sqrt{v^2+v_1{}^2}}{m+m_1}$$

Darinnen sind $v$ und $v_1$ die mittleren Geschwindigkeiten der Moleküle $m$ und $m_1$, $p_0$ ist der Druck, unter welchem die beiden Gase bei der absoluten Temperatur $T_0$ die Dichten $d^0$ bezw. $d^0_1$ haben und $p$ der Druck, welchen das Gasgemenge bei der während des Versuches herrschenden Temperatur $T$ hat.

Bezeichnet man nun mit $r$ und $r_1$ die Gaskonstanten der beiden Gase, so hat man

1) Langevin, Ann. chim. phys. (8) **5**, 245 (1905).
2) Boltzmann, Gastheorie **1**, 95.

1) Stefan, Wien. Ber. **63** (2), 63, (1871).
2) Stefan, Wien. Ber. **65** (2), 329, 1872.

$\frac{p_0}{d^0} = r T_0$ und $\frac{p_0}{d_1^0} = r_1 T_0$, somit also zunächst

$$D = \frac{1}{A} r r_1 T^2 \frac{1}{p}.$$

Nun ist aber $r T = \frac{p'}{d}$ ebenso wie $r_1 T = \frac{p_1'}{d_1}$

wenn $p'$ und $p_1'$ bezw. $d$ und $d_1$ die Partialdrucke bezw. Dichten bei der Temperatur $T$ bedeuten; ferner ist aber $p' = \frac{\pi}{8} d v^2$ und $p_1' = \frac{\pi}{8} d_1 v_1^2$, somit also $r T = \frac{\pi}{8} v^2$ und $r_1 T = \frac{\pi}{8} v_1^2$;

endlich ist $p = p' + p_1' = \frac{\pi}{8} (n m v^2 + n_1 m_1 v_1^2)$.

Durch Substitution dieser Werte ergibt sich:

$$D = \frac{1}{A} \frac{\pi}{8} \frac{v^2 v_1^2}{n m v^2 + n_1 m_1 v_1^2}.$$

Nimmt man nun die Geltung des Maxwellschen Verteilungsgesetzes an, so hat man

$$v = \frac{2}{\sqrt{\pi h m}} \text{ und } v_1 = \frac{2}{\sqrt{\pi h m_1}}.$$

Diese Werte für $v$ und $v_1$ in $D$ eingeführt, ergeben

$$D = \frac{\pi}{A} \frac{2}{\pi h m m_1} \frac{1}{(n + n_1)}.$$

Führt man die Substitutionen für $v$ und $v_1$ nun auch in $A$ durch, so hat man

$$\frac{1}{A} = \frac{3}{4\pi\sigma^2} \frac{m + m_1}{\sqrt{v^2 + v_1^2}} = \frac{3}{8\pi\sigma^2} \sqrt{(m + m_1)\pi h m m_1}$$

und man erhält endlich

$$D = \frac{3}{16\sigma^2 (n + n_1)} \sqrt{\frac{\pi h m m_1}{m + m_1}}.$$

Welcher Wert für den Fall, daß die Anzahl $n$ klein gegen $n_1$ ist, übergeht in:

$$D = \frac{3}{16\sigma^2 n_1} \sqrt{\frac{\pi h m m_1}{m + m_1}}.$$

Wien, Instit. für theor. Physik, Febr. 1906.

(Eingegangen 12. Februar 1906.)

## Notiz über die Verdampfungsgeschwindigkeit überhitzten Wassers.

Von G. Jaumann.

Hans Lorenz[1]) berechnet die Form des Dampfstrahles, welcher einen Strahl überhitzten Wassers bei seinem Austritte aus einem Kessel in die freie Luft begleitet, und welche aus Photographien dieser Dampfstrahlen[1]) recht gut zu erkennen ist. Hierbei geht er aber von der ganz unzutreffenden Voraussetzung aus, daß die Temperatur des Strahles proportional mit der Entfernung von der Austrittsöffnung abnehme.

Dieses hübsche Problem scheint mir deshalb einiges technisches Interesse zu haben, weil die Form des Dampfstrahles einen Schluß auf das Gesetz der Verdampfungsgeschwindigkeit überhitzten und unterkühlten Wassers gestattet.

Bezeichnen wir als Überhitzung des Wassers die Differenz $T$ seiner Temperatur und der seinem Drucke entsprechenden normalen Siedetemperatur. Die Verdampfungsgeschwindigkeit ist in erster Annäherung der ersten Potenz der Überhitzung proportional, denn sie verschwindet mit ihr, wächst mit ihr und wechselt mit ihr das Vorzeichen. Ist also pro Gewichtseinheit der Bruchteil $x$ des Wassers dampfförmig und bezeichnet $t$ die Zeit, so daß $dx/dt$ die Verdampfungsgeschwindigkeit bezw. Kondensationsgeschwindigkeit darstellt, so hat das gesuchte Gesetz die Form:

$$\frac{dx}{dt} = k \cdot T$$

und es handelt sich zunächst um die Auswertung der Konstanten $k$ dieses Gesetzes.

In der Entfernung $s$ von der Mündung habe der heiße Wasserstrahl die Geschwindigkeit $u$. Nach der Eulerschen Regel gilt in dieser stationären Strömung für jede Variable, also auch für den Verdampfungszustand $x$

$$\frac{dx}{dt} = u \frac{dx}{ds}.$$

Der Strahl kühlt sich zufolge der raschen Verdampfung mit Entfernung von der Mündung ab. Ist $c$ die spezifische Wärme des Wassers und $r$ die für mäßige Überhitzungen als konstant anzusehende Verdampfungswärme, so ist

$$r \cdot dx = - c \cdot dT$$

und wir erhalten schließlich:

$$cu \cdot dT = - k \cdot r T \cdot ds$$

oder

$$T = T_0 \cdot e^{-rsk/cu}.$$

$T_0$ ist also die Überhitzung des Wassers an der Mündung. Hiermit sind wir über die Temperaturverteilung in dem Strahle unterrichtet und damit ergibt sich auch der Verdampfungszustand:

$$x = \frac{c}{r} \cdot T_0 (1 - e^{-rsk/cu}).$$

Ist die sekundliche Ausflußmenge $G$ bekannt und bedeutet $v$ das spezifische Volum des Dampfes, so bestimmt sich der Querschnitt $F$ des Dampfstrahles nun durch:

1) Hans Lorenz, Techn. Wärmelehre S. 245.

1) Vgl. Annales des Mines **2**, 192, 1892.

$$F = G \cdot \frac{vc}{ru} \cdot T_0 \,(1 - e^{-rsk/cu})$$

als Funktion des Abstandes $s$ von der Mündung. Damit ist die Form der Meridiankurve der Oberfläche des Strahles bekannt, und man kann also aus guten Photographien solcher Strahlen die für die Theorie der Dampfmaschinen nicht unwichtige Konstante $k$ bestimmen. Insbesondere dürfte sich dieselbe aus dem Öffnungswinkel des Dampfkegels an der Austrittsmündung genau bestimmen lassen.

Brünn, im Januar 1906.

(Eingegangen 2. Februar 1906.)

## Zum Einfluß der totalen Sonnenfinsternis vom 30. August 1905 auf die erdmagnetischen Variationen.[1])

Von A. Nippoldt.

Das Kgl. Preußische Meteorologische Institut sandte anfangs August v. J. zum Studium der am 30. jenes Monats stattfindenden totalen Sonnenfinsternis eine Expedition nach Burgos in die Provinz Altkastilien in Spanien. Ihre Aufgabe bestand einesteils in der Erforschung der meteorologischen und luftelektrischen, andererseits der erdmagnetischen Verhältnisse während des Ablaufs des Phänomens. Beide Aufgaben verlangten ein längeres Verweilen, galt es doch vor allem, auch die normalen Verläufe der verschiedenen geophysikalischen Variationen zu ermitteln. Das Beobachtungsmaterial ist daher ein nicht unbeträchtliches geworden. Dies und die an sich größere Anzahl meteorologischer und luftelektrischer Elemente bringt es mit sich, daß über diesen Zweig der Expeditionstätigkeit heute noch nicht berichtet werden kann. Beim Erdmagnetismus liegen im wesentlichen nur die Beobachtungen der drei Elemente vor: Deklination, Horizontal- und Vertikalintensität. Über die Details der Beobachtungen, insbesondere über die Konstantenbestimmungen und die Verarbeitungsmethoden sei auf die im Laufe des Jahres erscheinende amtliche Publikation verwiesen.

Der vorliegende Bericht versucht über die rein amtliche Verarbeitung hinaus einen Beitrag zur Frage des Einflusses totaler Sonnenfinsternisse auf die erdmagnetischen Variationen zu geben und benutzt hierzu auch das zugänglich gewesene Material anderer Stationen. Das Problem ist bis jetzt hauptsächlich von L. A. Bauer und W. van Bemmelen[2]) behandelt worden, seiner Natur nach aber so leicht subjektiven Anschauungen unterworfen, daß eine unabhängig durchgeführte Untersuchung der Wunsch eines jeden Forschers sein dürfte und auch im speziellen der ausgesprochene Wunsch des ersteren Gelehrten war. Die letzte diesbezügliche Arbeit L. A. Bauers erschien 1902[1]), so daß der Gang der Untersuchung und insbesondere die Details dem Verfasser vorliegender Arbeit wieder entfallen waren; die hier gegebene Verarbeitung darf so als unabhängig von jener früheren gelten. Erst nachdem sie beendet war, ist ein Vergleich mit L. A. Bauer vorgenommen worden.

Das Instrumentarium der erdmagnetischen Station zu Burgos bestand aus zwei Feinmagnetometern nach Eschenhagen, einer magnetischen Wage nach Edler und den zugehörigen Registrier- und Nebenapparaten. Die beiden Magnetometer tragen mit ihren Spiegeln je $1\frac{1}{2}$ g schwere Lamellenmagnete mit starker Kupferdämpfung. Zur Suspension dienen Quarzfäden, da diese allein eine genügend geringe elastische Nachwirkung besitzen, um für Reisezwecke in Frage zu kommen. Durch untergelegte, bestimmt fixierbare lange Magnete

1) Nach einem Vortrag, gehalten am 6. Februar 1906 vor dem Berliner Zweigverein der deutschen Meteorologischen Gesellschaft.

2) Natuurk. Tijdschr. v. Ned.-Indie. **64**, 3—4, 1905.

1) Terr. Magn. a. Atm. Electr. **7**, 155—192, 1902.

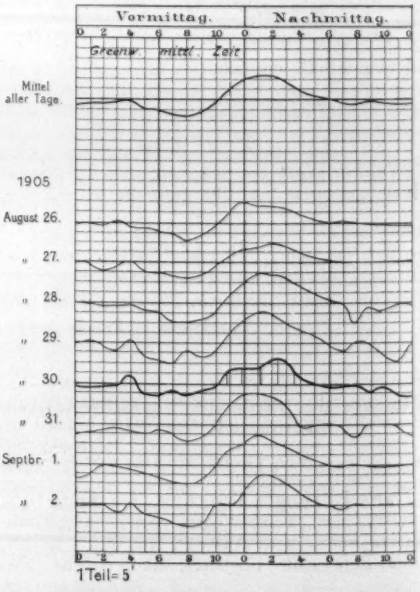



Fig. 1.

wurde das Erdfeld zu einem genügenden Betrage homogen kompensiert und damit eine geeignete Empfindlichkeit der Variometer hergestellt. Sie betrug bei dem Deklinatorium $0',45$, bei dem Horizontalintensimeter $1',3$ für den Millimeter der Registrierung. Die Suspension ist bei beiden Variometern bekanntlich eine unifilare. Die Ost-Weststellung des Magneten bei dem Intensimeter durch die Kompensationsmagnete geschah von vornherein, so daß die sogen. konstante Torsion klein genug war, um keine meßbare Asymmetrie der Elongationen hervorzurufen. Die Variationen in der vertikalen Komponente kamen durch die magnetische Wage zur Registrierung; auch hier war das Erdfeld zum Teil kompensiert und zwar nach der Methode des kurz vorher verstorbenen Prof. Edler, die zugleich gestattet, den Temperaturkoeffizienten der Wage zu Null zu machen. Auch besaß das mitgenommene Exemplar ein photographisch registrierendes Metallthermometer (Bourdonröhre). Die verlangte Empfindlichkeit wurde in wenigen Tagen erzielt; sie nahm dann langsam zu von 1,2 bis 1,8 $\gamma$ für den Millimeter Registrierung. Die Registrierapparate funktionierten ebenfalls durchaus zufriedenstellend. Sie liefen entweder langsam ($1\ U = 24^{st}$) oder schnell ($1\ U = 2^{st}$), so daß, 0,1 mm als Genauigkeitsschwelle der Zeitablesung angesehen, die Zeit auf $20^s$ resp. $1^s,2$ genau bekannt war. Die absolute Zeit wurde aus Uhrvergleich mit den Chronometern der Astronomenstation in Burgos und aus direkten Beobachtungen der Zeiten des zweiten und dritten Kontaktes erhalten. Die Temperatur schwankte innerhalb der elf Tage fortlaufender Registrierung von $15^0,2$ bis $23^0,6$; es entsprach ein Millimeter der Registrierung $0^0,6$ C. Über alle näheren Daten vergleiche man die amtliche Publikation.

* * *

Wenn eine totale Sonnenfinsternis überhaupt einen Effekt erzeugt, so verrät er sich in der Abweichung von dem in dieser Beziehung ungestörten Verlauf, d. h. jenem, wie er ohne Finsternis stattgefunden hätte. Wie dieser gewesen wäre, darüber lassen sich nun zwar mehr oder weniger begründete Anschauungen entwickeln. Besser ist es jedoch, einen sogenannten normalen Verlauf in bestimmter Weise zu definieren. Wenn er dann auch dem wahren normalen Verlauf vielleicht nicht entspricht, ist doch wenigstens die Vergleichbarkeit mit den

Station Burgos.

Horizontal-Intensität.

Abweichungen vom Tagesmittel.

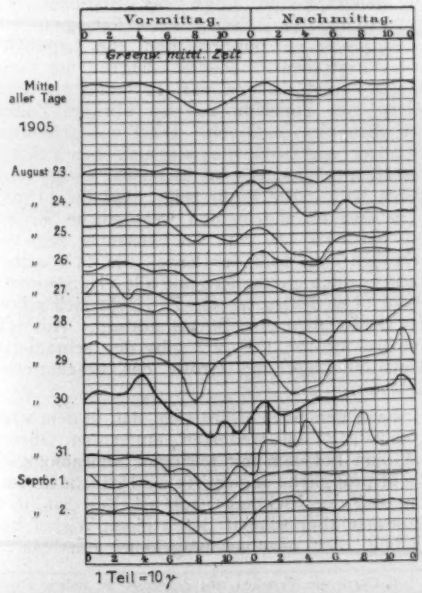



Fig. 2.

Station Burgos.

Vertikal-Intensität.

Abweichungen vom Tagesmittel.

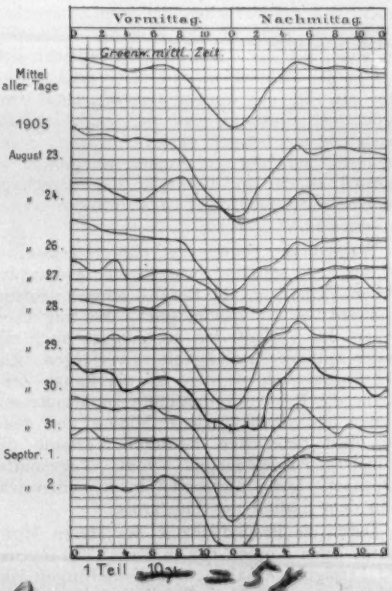



Fig. 3.

Siehe Berichtigung in Phys. Z. S. 368.

Ergebnissen anderer Stationen ohne weiteres gegeben, wenn ihr errechneter normaler Gang auf dieselbe Weise definiert ist. Dieser Vergleich wird dann schon selbst etwaige systematische Fehler verraten. Insofern ist als normaler Gang für Burgos das Mittel aus allen verfügbaren vollständigen Beobachtungstagen gewählt (in Deklination 8, in Horizontalintensität 11, in Vertikalintensität 10 Tage). Die Figuren 1, 2 und 3 geben in Abweichungen vom Tagesmittel sowohl die Verläufe an den einzelnen Tagen, als auch den mittleren Gang nach Greenwicher mittlerer Zeit ($\lambda = 14^m 41^s{,}1$ W. v. Gr.).

Die starke Linie repräsentiert jedesmal den Gang des Elementes am Tage der Finsternis. Sechs Ordinaten sind besonders ausgezogen; sie entsprechen von links nach rechts den Zeiten

$10^a 38^m$ Beginn der Finsternis auf der Erde,
$11^a 47^m$ Beginn der Finsternis in Burgos,
$1^p 7^m$ Beginn der Totalität in Burgos,
$1^p 10^m$ Ende der Totalität in Burgos,
$2^p 27^m$ Ende der Finsternis in Burgos,
$3^p 37^m$ Ende der Finsternis auf der Erde.

Die Übersicht veranschaulicht zunächst, wie sich der mittlere Verlauf im individuellen eines bestimmten Datums wiederfindet und gestattet damit ein Urteil über ihn, aber auch ein Urteil darüber, ob der 30. August ein Sonderverhalten zeigt.

In der Tat hat man nun durchaus den Eindruck, daß das Verhalten der erdmagnetischen Variationen während der Zeit der Finsternis ein abnormes war. Insbesondere spricht sich dies in der Deklination und der Vertikalintensität aus. In der horizontalen Intensität tritt jedoch der Umstand, daß die Tage um die Finsternis magnetisch gestörte waren, recht ungünstig auf; der 31. August ist gerade so anormal, als der 30. Immerhin aber berechtigt die Übersicht doch dazu, das Problem weiter zu verfolgen.

Während der ganzen Zeit, daß die Finsternis auf der Erde stattfand, wurden die erdmagnetischen Variationen in Burgos schnell laufend registriert; es ist also möglich, die fraglichen Stellen des Verlaufs am 30. August auch mit großer zeitlicher Genauigkeit zu verfolgen. Zunächst genügend, wurden für die ganze Zeitspanne die Kurven von Minute zu Minute abgelesen und dann für jede Minute aus dem, wie oben definierten mittleren Verlaufe die normalen Abweichungen vom Tagesmittel berechnet. Der Unterschied beider entspricht dann dem Einfluß der Finsternis.

Durch die Freundlichkeit des Herrn Moureaux lagen Kopien der in Paris (Val Joyeux) und Perpignan erhaltenen Registrierungen vor, und außerdem standen in Potsdam durchgeführte Beobachtungen an den Variometern für direkte Ablesung zur Verfügung, so daß eine vorläufige Information darüber gewonnen werden konnte, ob der Vergleich dieser vier Stationen vereinbare Resultate lieferte. Hierbei genügte es, das „Hauptphänomen" durch eine Ausgleichung der minutlichen Ablesungen herauszuschälen. Da eine der Zukunft vorzubehaltende umfassende Bearbeitung alles auf der Erde enthaltenen Materials der exakten Fassung des „Hauptphänomens" doch näher treten muß, so genügt es, hier anzuführen, daß durch eine rechnerische Ausgleichung der halbstündlichen Mittelwerte eine Mittellinie gesucht wurde, die mit möglichst stetiger Krümmung und in möglichst geringen Schwankungen die beobachteten Werte durchzog. Für dies Hauptphänomen wurden für alle ganzen und halben Stunden für alle vier Orte die Vektoren nach Größe und Richtung berechnet. Die Figur 4 veranschaulicht die Verhältnisse. Leider konnten bis zur Veröffentlichung einige Grundwerte des wichtigen und mit schönen Beobachtungen begünstigten Observatoriums zu Coimbra noch nicht erlangt werden. Da alle anderen Stationen nördlich vom Totalitätsstreifen gelegen sind, ist Coimbra von ganz besonderem Werte. Ebenso konnten auch die Beobachtungen von San Fernando und dem Observatorium zu Tortosa am Ebro noch nicht verarbeitet werden.

Das erste Feld der Figur 4 veranschaulicht die geographische Lage der Stationen (Po = Potsdam, Pr = Paris, Pp = Perpignan, B = Burgos, C = Coimbra) und die Lage des Totalitätsstreifens.[1]) Zuerst liegen nur von Burgos Feinablesungen vor, $10^{30}$ und $3^{30}$ auch solche von Potsdam, zu den übrigen Zeiten von allen vier Stationen. Die Pfeile geben die Richtung und Größe des magnetischen Vektors des Hauptphänomens an und zwar sind 7 mm gleich 10 γ. Die Figur zeigt, daß bis $11^h 30^m$ a. m. eine im allgemeinen westöstliche Strömung existierte (der Sitz der Strömung liegt bekanntlich außerhalb der Erde), die $11^{30}$ selbst noch ziemlich gleichmäßig auf alle vier Stationen wirkt. Um Mittag m. Gr. Z. verrät sich schon das Herannahen einer Sonderstörung. Auf den Feldern für $1^{h0}$, $1^{h30}$, $2^{30}$ gibt der schraffierte Kreis die Lage und Größe des beschatteten Gebietes.

Im allgemeinen ergibt sich, daß in dem vom Totalitätsort am weitesten entfernten Observatorium Potsdam mit geringen Schwankungen die ursprüngliche ungestörte westöstliche Strömung sich der Richtung nach erhalten hat, ihre Intensität aber scheint durch einen Wirbel beeinflußt, der offenbar umgekehrt durchlaufen

1) Durch ein Versehen des Zeichners ist Italien etwas verzeichnet, was aber unwesentlich ist.

wird als der Wirbel der ungestörten täglichen Variation, das Verhalten der magnetischen Vektoren entspricht einem Wirbel, der in dem Sinne der Bewegung des Uhrzeigers durchlaufen wird, während der Wirbel des täglichen Feldes im umgekehrten Sinne rotiert.[1])

1) Vgl. W. v. Bezold: Zur Theorie des Erdmagnetismus. Berl. Sitzber. **18**, 445, 1897.

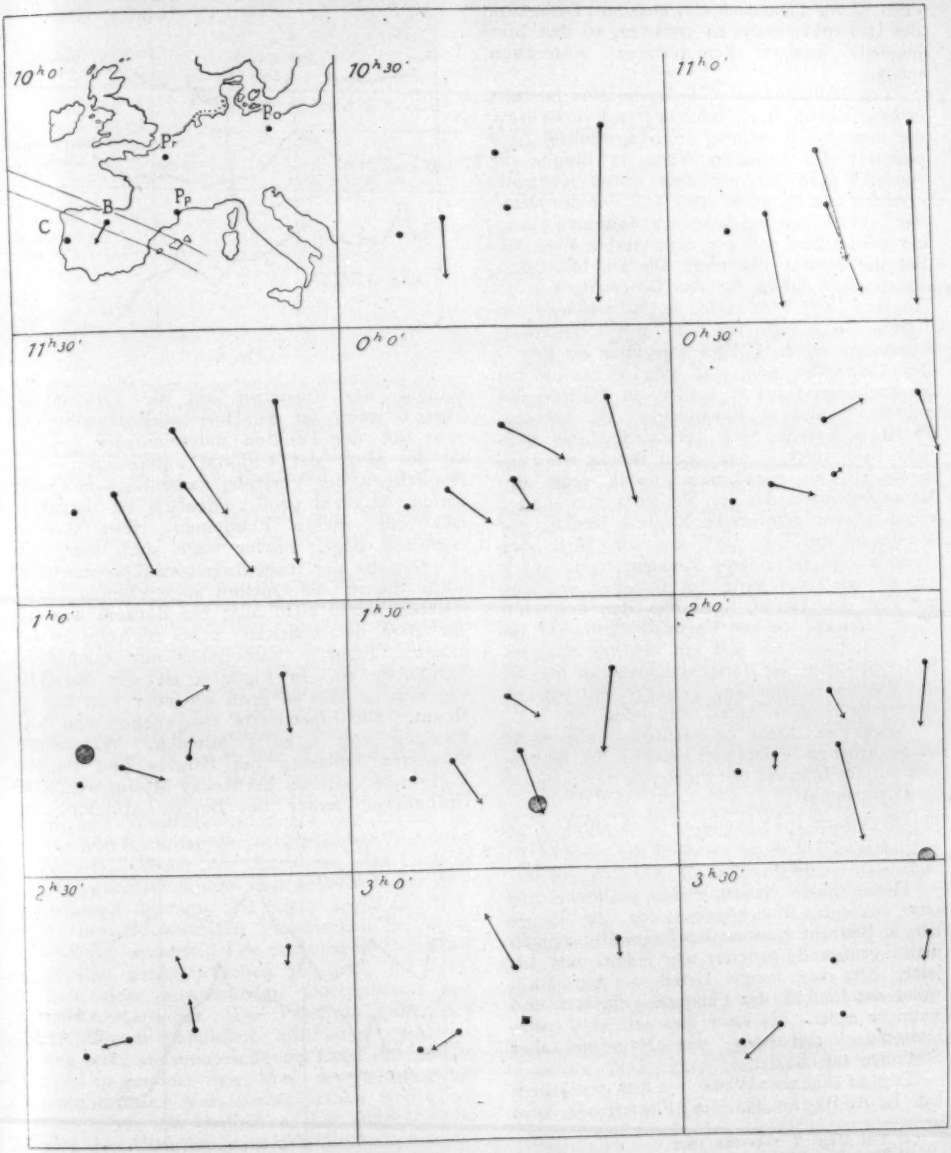



Fig. 4.

Das Hauptphänomen ist also vom entgegengesetzten Effekt, wie die tägliche Variation.

Es sei jedoch nochmals betont, daß zu einer endgültigen Lösung der Frage die Verarbeitung allen Materials zu fordern ist. Von einer solchen ist vor allem auch eine genauere Definition des Hauptphänomens zu erwarten, so daß hier folgende wenigen Bemerkungen ausreichen mögen.

Das Hauptphänomen in Deklination besteht in einer einseitigen Ausbuchtung und verkleinert die normale Abweichung vom Tagesmittel. Es passierte die normalen Werte in Burgos in runden Zahlen $30^m$ vor dem ersten Kontakt, erreichte sein Minimum etwa $35^m$ vor der Mitte der Totalität und passierte den normalen Gang ein zweites Mal $35^m$ vor dem vierten Kontakt. Bei der totalen Finsternis am 18. Mai 1901 waren diese Zahlen für das Observatorium in Mauritius $26^m$, $18^m$ und $14{,}5^m$, während in Karang Sago $41^m$, $24^m$ und $39^m$ Verspätung konstatiert wurde.[1] Dies mag aber ein Effekt des Umstandes sein, daß die Deklination in Karang Sago 1 bis $2^0$ östlich, in Burgos dagegen $17^0$ und in Mauritius $9^0$ W. beträgt. Es ist ja bekannt, wie verschieden das tägliche Feld wirkt, je nach dem Betrag der Elemente.[2] Die Horizontalintensität zeigt ein Hauptphänomen, das ein Minimum von $-20\,\gamma$ etwa $35^m$ vor dem ersten Kontakt besitzt, ein Maximum von $-5\,\gamma$ $35^m$ vor der Mitte der Totalität, ein sekundäres Minimum von $-11\,\gamma$ ca. $20^m$ nach der Mitte der Totalität und das zur Zeit des vierten Kontaktes den normalen Wert erreicht. In der Vertikalkomponente ist das Hauptphänomen fast ein direktes Spiegelbild von jenem der Horizontalintensität, nur ist die absolute Schwankung geringer und ein ansteigender linearer Anteil vorhanden.

Nach den direkt beobachteten, also nicht ausgeglichenen Feinregistrierungen in Burgos war für das Intervall der Finsternis der Sonnenfinsterniseinfluß

in D in max. $+ 1',53$, in min. $- 2',52$, ampl. $4',05$
„ H „ „ $+11',1$ „ „ $-28',1$ „ $39',2$
„ Z „ „ $22\gamma,1$ „ „ $+ 2\gamma,1$ „ $20\gamma,0$.

Diese Zahlen haben jedoch praktisch nur eine bedingte Brauchbarkeit, da die Länge des in Betracht kommenden Intervalls sachlich nicht genügend definiert ist, indem uns bis jetzt jedes begründete Urteil darüber fehlt, wann der Einfluß der Finsternis einsetzt und wann er endet. Es kann dies erst eine systematische Verarbeitung des Materials aller Stationen entscheiden.

In ganz ähnlicher Weise, wie hier geschehen, hat L. A. Bauer für die Finsternisse vom 12. Dez. 1871 und 28. Mai 1900 die Abweichungen (Residuals) von einem normalen Gang konstruiert. Figur 5 zeigt nach den direkten Beobachtungen, also ohne Ausgleichung, den

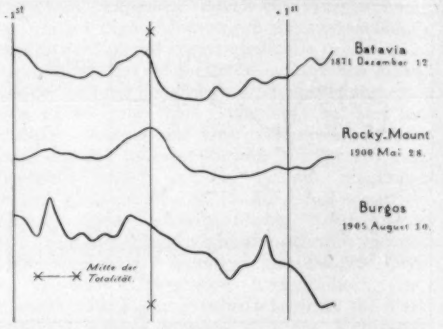



Fig. 5.

Einfluß der Finsternis auf die Deklination, Figur 6 jenen auf die Horizontalintensität und zwar mit den Punkten untereinander gestellt, die der Mitte der Totalität entsprechen. Die Ähnlichkeit der Verläufe, namentlich in Deklination, ist recht groß, jedenfalls ist dargetan, daß ein reelles Phänomen dem Ganzen zugrunde liegt. Besser wäre auch hier eine Wiedergabe der rechtwinkeligen Komponenten, allein die in den Quellen angegebenen Daten reichten hierzu nicht aus; bei Batavia war sogar über den Maßstab nichts Sicheres zu ermitteln. Figur 5 läßt daher nur qualitative Vergleiche zu. In Figur 6 ist der Maßstab von Burgos halb so groß als jener von Rocky Mount. Die Einzelwerte entsprechen den Ablesungen von 5 zu 5 Minuten. Wachsende Ordinaten bedeuten bei Batavia und Burgos wachsende östliche, bei Rocky Mount westliche Deklination, ferner bei Burgos abnehmende,

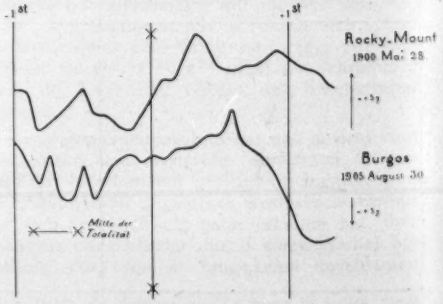



Fig. 6.

1) Terr. Magn. 7, 155—192, 1902.
2) W. v. Bezold, a. a. O. S. 431, 1897.

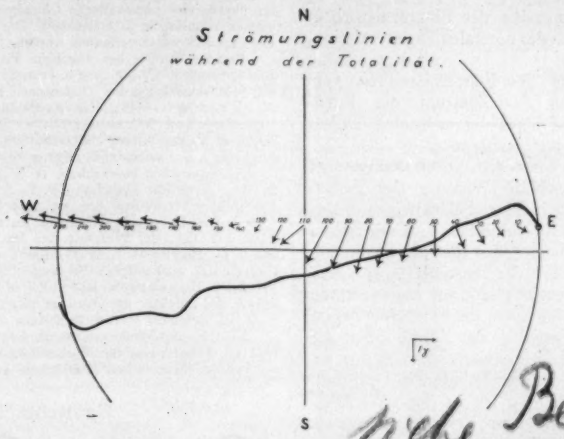



Fig. 7.

bei Rocky Mount zunehmende Horizontalintensität. Diese Umzeichnung ist der besseren Veranschaulichung wegen gewählt.

Die Totalität war zentral 1871 in Batavia um $10^{h}30^{m}$, in Rocky Mount 28. Mai 1900 um $8^{h}30^{m}$, in Burgos um $0^{h}59^{m}$ M. O. Z. Man sieht also, daß die Tageszeit ohne Einfluß auf die allgemeine Gestalt der Kurven in Fig. 5 und 6.

Die letzte Aufgabe ist nun die, die Verhältnisse der Totalität selbst zu untersuchen. Zu diesem Behufe wurden mit einer zu solchen feinen Ablesungen eingerichteten Glasskala die Feinregistrierungen von 10 zu 10$^{s}$ abgelesen und die Unterschiede gegen die Werte im Moment des zweiten Kontaktes gebildet. Die Dauer der Totalität betrug $3^{m}41^{s} = 221^{s}$, so daß die 220. Sekunde die Totalität fast abschließt. Aus den Variationen der beiden horizontalen Elemente wurden jene der Südnord- und Westostkomponente und daraus die Größe und Richtung der magnetischen Vektoren berechnet. Unter der Annahme, die Ursache des Finsterniseinflusses läge außerhalb der Erdrinde, sind darnach, wie Fig. 7 zeigt, die Vektoren der äquivalenten elektrischen Strömung gezeichnet worden. Die ausgezogene Vertikale stellt den astronomischen Meridian, die Horizontale den westöstlichen Durchmesser des Mondschattens dar. Die Vektoren gehen von einer diesem parallelen, nördlicher gelegenen Sehne aus; sie entspricht der Lage der Station Burgos gegenüber dem Weg des Zentrums des Kernschattens. Von dieser selben Sehne aus zählen auch die Ordinaten der ausgezogenen Kurve der Variationen in der Vertikalintensität, die nach unten, nach $S$ zu, positiv zu rechnen sind, d. h. im Sinne vergrößerter, radial in die Erde wirkender Intensität. Die Vektoren geben jene der magnetischen Störung, wenn man von dem Zentrum aus nach $E$ die Südnord- und nach $S$ die Westostkomponente positiv zählt. Für diese Auffassung und für die Vertikalkomponente gibt der eingezeichnete Maßstab die einem $\gamma$ entsprechende Länge. Die beigeschriebenen Zahlen geben die seit Eintritt der Totalität verstrichene Zeit an, so daß letztere von rechts nach links wächst.

Die Verhältnisse, wie sie hier für Burgos wiedergegeben, sind nach zwei Seiten hin asymmetrisch, indem nämlich bei der Lage der Station nördlich vom zentralen Durchmesser zu Beginn der Totalität weder $\Delta X$ noch $\Delta Y$ Null gesetzt werden dürfte. Dies kann jedoch das Gesamtbild des Phänomens nicht berühren. Es ist Aufgabe der mehrfach als wünschenswert bezeichneten umfassenden Gesamtverarbeitung, die wahrscheinlichste Lage des Ausgangspunktes zu ermitteln. Qualitativ dürfte das endgültige Resultat kaum ein anderes dartun, als daß mit dem Kernschatten ein elektrischer Stromwirbel über die Erde gewandert ist, der für einen äußeren Beschauer eine Strömung im Sinne der Drehung des Uhrzeigers vollführt hat. Wahrscheinlich wird die endgültige Untersuchung, wie es hier sich zu ergeben scheint, ebenfalls ein Zurückbleiben des Wirbelzentrums gegen jenes des Kernschattens konstatieren, indem probeweise verschieden gewählte Nullpunkte stets ein Zurückbleiben feststellen ließen. So konstatieren wir denn zwei wesentliche Unterschiede gegenüber dem Tageswirbel des Feldes der normalen täglichen Variation:

1. der Strömungssinn des Finsterniswirbels ist umgekehrt jenem der normalen Tagesvariation, und

2. das Zentrum des Finsterniswirbels verspätet sich gegen das Zentrum des Kernschattens, während jenes der normalen Tagesbewegung der Sonne vorauseilt.

Dies scheint sehr die Anschauungen zu unterstützen, wonach die Wirkung der Verfinsterung der Sonne in einer Schirmwirkung des Mondes gegen die Energiezufuhr von der Sonne bestehen soll. Allein selbst dies angenommen, muß doch wohl auch der Umstand — und vielleicht noch als intensiver wirksam angenommen werden, daß das Phänomen der Finsternis gegen die scheinbare Bewegung der Sonne über die Erde wandert.

Das Verhalten der Vertikalintensität während der Totalität zeigt, daß in der Tat das magnetische Phänomen seine Ursache außerhalb der Erdrinde besitzt, verrät aber auch die Mitwirkung induzierter Ströme, da das Maximum nicht in das Wirbelzentrum fällt. Wegen des schon lange vor der Totalität einsetzenden Anstieges dieses Elementes ist hier die Wahl des Nullpunktes von besonderem Einfluß.

(Eingegangen 22. Februar 1906.)

## Fragekasten.

Vor einigen Jahren machte unter den Physikern und Chemikern eine Frage die Runde, die außerordentlich viel und lebhaft in engeren Kreisen erörtert worden ist, nämlich: ob eine Fliege, die in einem entweder offenen oder geschlossenen Gefäß entweder sitzt oder schwebt, bei der Wägung dieses Gefäßes auf das Gewicht Einfluß hat und welchen.

Als diese Frage kürzlich in einem Kreise von Fachgenossen aufgeworfen wurde, ergab sich zur Überraschung des Schreibers dieser Zeilen, daß es nicht möglich war, eine einheitliche Antwort zu erzielen. Jeder argumentierte anders und ließ sich von der etwaigen Unrichtigkeit seiner Ansicht nicht überzeugen. Es erscheint daher im Einverständnis mit der Redaktion der Anregung nicht unwert, diese lehrreiche Frage hiermit zur öffentlichen Erörterung zu stellen und die Herren Fachgenossen zu bitten, sich an der Beantwortung recht lebhaft zu beteiligen, weil jedem Interessenten eine andere Art der Auffassung die anschaulichste sein wird.

A. R.

## Personalien.

**(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)**

Es habilitierten sich an der Technischen Hochschule zu Berlin der Oberingenieur Dr. G. Benischke für Wechselstromtechnik, Oberlehrer Dr. G. Wallenberg für Mathematik und Dr. phil. Arthur Binz für Chemie, an der Universität zu Leipzig Dr. phil. Karl Fredenhagen für physikalische Chemie, an der Universität zu Berlin Dr. phil. Hermann Großmann für Chemie, an der Universität Wien Dr. Viktor Conrad für Meteorologie, an der böhmischen Technischen Hochschule in Prag der Realschulprofessor Matthias Norbert Vanecek für Mathematik.

Dem Privatdozenten für physikalische Chemie an der Universität Bonn, Dr. Walter Löb, und dem Privatdozenten für Physik und physikalische Chemie an der Großh. Technischen Hochschule in Darmstadt, Dr. Max Rudolphi, ist der Professorentitel verliehen worden.

Ernannt wurden der Ingenieur Paul Krainer von der Schichauwerft in Elbing zum o. Professor für Schiffsmaschinen und Schiffskessel an der Technischen Hochschule in Berlin, Dr. C. von Wisselingh in Amsterdam zum Professor für Mathematik und Naturwissenschaften in Groningen, der Privatdozent an der Wiener Universität Dr. Friedrich Hasenöhrl zum a. o. Professor für allgemeine und technische Physik an der technischen Hochschule in Wien, der a. o. Professor an der Universität München Dr. E. Anding zum Direktor der Gothaer Sternwarte, der Astronom Dr. phil. Paul Guthnick in Bothkamp zum Observator an der Königlichen Sternwarte in Berlin, der Professor der Mathematik und Astronomie J. G. Hagen S. J. in Georgestown (Washington) zum Direktor der vatikanischen Sternwarte in Rom.

Dr. E. Hagenbach-Bischoff in Basel, o. Professor für Physik und Direktor der dortigen physikalischen Anstalt, tritt Ende des Sommers in den Ruhestand.

Mit Ende des Wintersemesters gibt Professor Dr. Richard Müller, Privatdozent für Mathematik, seine Lehrtätigkeit an der Berliner Technischen Hochschule auf.

**Gesuche.**

**Promovierter Physiker**

mit besten Zeugnissen und Empfehlungen (1½jährige Assistentenpraxis) **sucht** Assistentenstelle möglichst für sofort. Gefl. Zuschriften werden erbeten unter **No. 211** an die Verlagsbuchhandlung **S. Hirzel** in **Leipzig.**

**Promovierter Physiker,**

langjähriger Assistent an Universitäts- und Hochschul-Instituten **sucht Stellung** als Assistent oder in der Praxis. Gefl. Anerbieten unter **No. 212** an die Verlagsbuchhandlung **S. Hirzel, Leipzig.**

**Gesucht** ein promovierter Physiker, auf elektrischem Gebiet bewandert, als

**Assistent**

für wissenschaftlich-technisches Staatsinstitut. Anstellung remuneratorisch; Anfangsgehalt 3000 M. Bewerber wollen Lebenslauf und Zeugnisse in Abschrift baldigst einsenden unter **No. 213** an den Verlag dieser Zeitschrift.

Für das physikalische Institut der **Technischen Hochschule** in **Darmstadt** wird zu Ostern d. J. ein

**Assistent**

**gesucht.** Bewerbungen sind zu richten an

Prof. Dr. **K. Schering**
**Darmstadt,** Hochschulstraße 2.

Für die Redaktion verantwortlich Privatdozent Dr. Emil Bose in Göttingen — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.